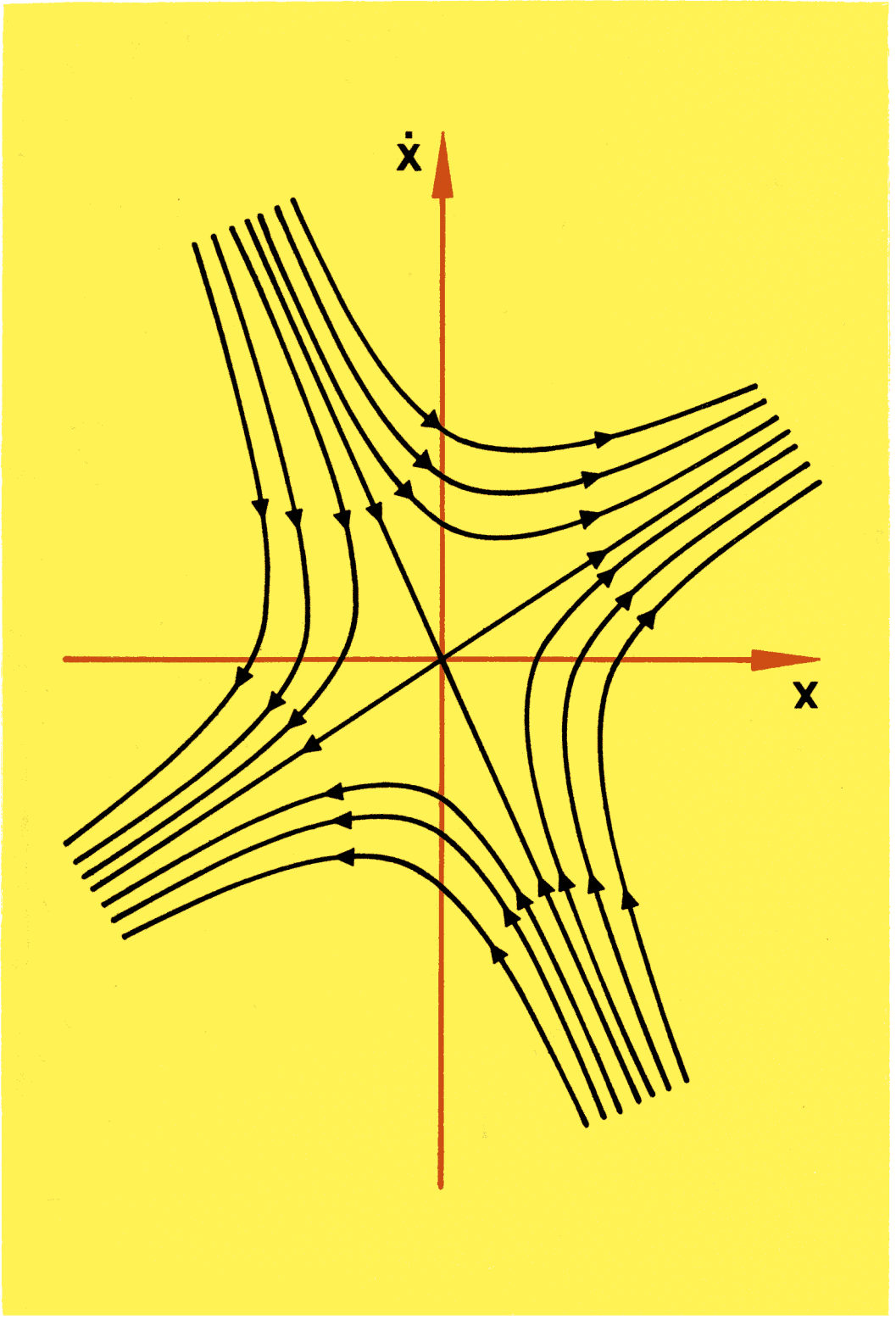
1. TIE/MSR
2. TIH
3. TIE/MSR 2. Verbleib

Abteilung Elektro
29. OKT. 1982
Betrieb Ammendorf

# 10 msr

**1982** **messen • steuern • regeln**




25. Jahrgang
Heft 10
Oktober 1982

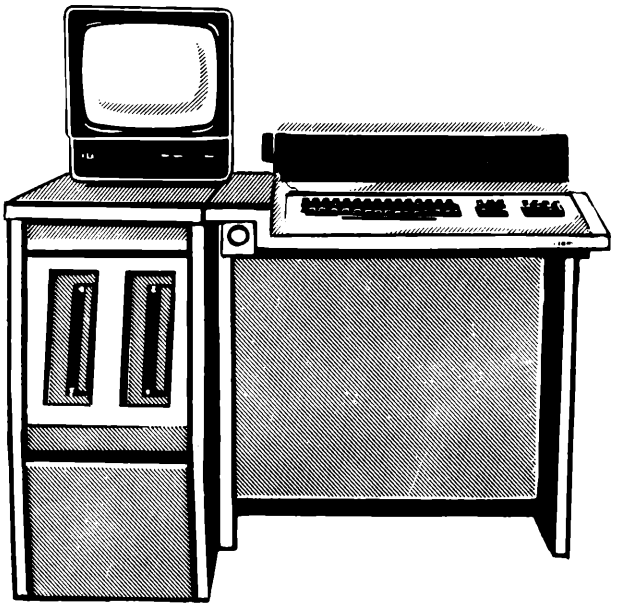
Verlagspostamt Leipzig
EVP: 4,00 M

**VEB**
**Verlag Technik**
**Berlin**

Index 32525
ISSN 0026-0347

# Isotimpex

## Textverarbeitungsautomat ISOT 1002 C



### Funktionen

- Eingabe eines Textes und seine Speicherung auf dem externen Speicher
- Automatische Formatierung des eingegebenen Textes
- Möglichkeit von Korrektur, Ergänzung, Streichung sowie Auslassung von Sätzen, Wörtern oder einzelnen Symbolen
- Zusammenstellung von Texten aus Bausteinen
- Wiederholschreiben

### Einsatzgebiete

Der Textverarbeitungsautomat ISOT 1002 C dient der Automatisierung des Maschineschreibens und der Textbearbeitung in Schreibzimmern, Redaktionen und polygrafischen Kombinaten. Weitere Einsatzgebiete sind die Erarbeitung von Dokumentationen in Forschung und Entwicklung sowie die Rationalisierung der Büroarbeiten in großen Industrie- und landwirtschaftlichen Betrieben. Die Baugruppen des Textverarbeitungsautomaten sind zu einem selbständigen Arbeitsplatz zusammengefaßt.

### Technische Parameter

- Steuerkern auf der Basis eines 8-Bit-Mikroprozessors
- Arbeitsspeicher von 48 KByte
- Bildschirmanzeige von bis zu 1920 Zeichen
- Kyrillische und lateinische Standardtastatur
- Funktionstastatur für Berichtigungen und Textverarbeitung mit Klartext
- Folienspeicher EC 5074 als externer Speicher
- Alphanumerischer Drucker EC 7187
- Netzanschluß: 220 V; 50 Hz

Export:

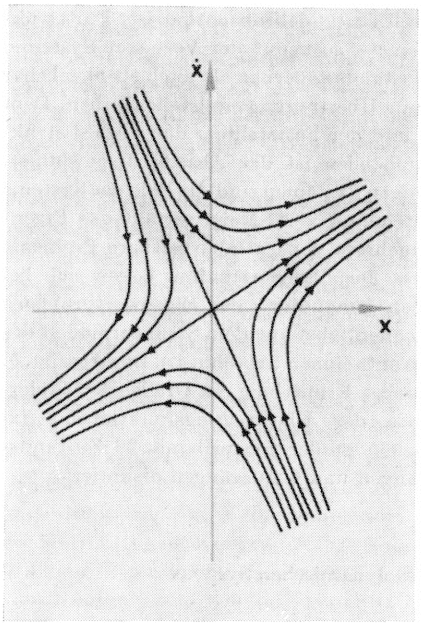
AHO »ISOTIMPEX«, Tschapaewstr. 51 · Sofia/VR Bulgarien

Ruf: 74-61-51 · FS 022731, 022732

# msr

**messen · steuern · regeln**

Wissenschaftlich-technische Zeitschrift für die Automatisierungstechnik


Moderne Regelungsverfahren zur optimalen Führung dynamischer Vorgänge (Umsteuerungsvorgänge, An- und Abfahrprozesse) basieren häufig auf dem Konzept der Strukturumschaltung zwischen zwei Reglern. Durch geeignete Wahl der beiden Reglerstrukturen (Regler 1 mit Gegenkopplung und oszillatorisch stabilem Verhalten, Regler 2 mit Mitkopplung und monotoner Instabilität sowie entarteter stabiler Bewegung entlang einer Vorzugsrichtung) erhält man große Parameterunempfindlichkeit der Regeleinrichtung. Das Titelbild zeigt das Phasenporträt mit Sattelpunkt eines derart mitgekoppelten Reglers 2. Näheres zu dieser interessanten Thematik ist dem Beitrag auf S. 551 zu entnehmen.

Titelgrafik: *G. Schwesinger*


Herausgeber:

Wissenschaftlich-Technische Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) in der KDT

Redaktionsbeirat:

Obering. G. F. Berg, Dr. rer. nat. A. Borgwardt, Dr.-Ing. E. h. W. Britall, Prof. Dr.-Ing. W. Fritzsch, Doz. Dr.-Ing. H. Fuchs, Dr. rer. nat. H. Gena, Dipl.-Ing. H. Gottschalk, Dr.-Ing. K. Hilscher, Prof. Dr.-Ing. habil. D. Hofmann, Dipl.-Ing. K. Keller, Prof. em. Dr. phil. nat. Dr.-Ing. E. h. H. Kindler, Dipl.-Phys. G. Meister, Dr.-Ing. J. Müller, Prof. Dr. sc. techn. R. Müller, Obering. K.-H. Nagel, Prof. Dr.-Ing. S. Pilz, Dr.-Ing. W. Reichel, Prof. Dr. sc. techn. K. Reinisch, Dr.-Ing. H. Schulze, Prof. Dr.-Ing. H. Töpfer, Prof. Dr. sc. oec. G. Viehweger



10 25. Jahrgang Oktober 1982

VEB VERLAG TECHNIK



**AUFSÄTZE** ISSN 0026-0347

542 *K. Reinschke*
**Strukturelle Pol-Nullstellen-Analyse von Systemen in Zustandsraumdarstellung**

551 *G. Stein*
**Entwurf parameterunempfindlicher Regler auf der Basis eines modifizierten Gleitzustandes in Systemen mit veränderlicher Struktur**

555 *P. Hummitzsch* und *R. König*
**Corex — eine rationelle Möglichkeit zum Entwurf verbindungsprogrammierter Steuerungen**

559 *G. Franke* und *S. Rülke*
**Zur Synchronisation der Steuerung mit dem gesteuerten Prozeß**

564 *R. Harzer, M. Raue* und *K. Römhild*
**Entwicklung eines Teach-in-Moduls für Schweißroboter**

568 *L. Friedrich*
**Zur Abhängigkeit des Zeit- und Mengenverhaltens industrieller Ausrüstungen und spezieller Fertigungsprozesse von Zuverlässigkeitsanforderungen**

575 *H. Kloust*
**Kennzeichnungen in Automatisierungsanlagen**

579 **FORTSETZUNGSREIHE**

581 **KURZBEITRAG**

583 **TAGUNGEN UND KOLLOQUIEN**

587 **TECHNISCHE INFORMATIONEN**

589 **PATENTREFERATE**

591 **BUCHBESPRECHUNGEN**

595 **NEUE BÜCHER AUS DER UDSSR**

596 **VORSCHAU UND KURZINFORMATIONEN**

Doz. Dr.-Ing. habil. Dr. rer. nat. *K. Reinschke*, Dresden[1])

# Strukturelle Pol-Nullstellen-Analyse von Systemen in Zustandsraumdarstellung

IA 2.3.0.

## 0. Einleitung

Die traditionellen mathematischen Methoden zur Beschreibung automatisierter Systeme beruhen auf deren Modellierung mit Hilfe von Differentialgleichungssystemen (DGLS), die numerisch gelöst werden müssen. Bei der Untersuchung großer Systeme sind diese Methoden häufig nicht anwendbar, weil einerseits die dazu erforderlichen Daten aus Mangel an Information über das System nicht beschafft werden können und andererseits die Lösung großer Gleichungssysteme (GLS) auf rechentechnische und numerische Schwierigkeiten stößt. Auf Grund der unvermeidlichen Änderungen von technologischen Parametern, der Umgebungsbedingungen u. a. Einflüsse darf der Ingenieur seinen Entscheidungen in der Regel auch nicht die einmal ermittelten quantitativen Lösungen (bis zur letzten Kommastelle genau!) zugrunde legen, sondern er muß vielmehr aus den quantitativen Rechenergebnissen mit einer gewissen, aus der Sachkenntnis diktierten Vorsicht die notwendigen Schlüsse über das qualitative Verhalten des automatisierten realen Systems ziehen. Der Praktiker trifft seine Entscheidungen mitunter sogar ausschließlich mit Erfahrung und Intuition, also ganz ohne Zahlenrechnung. Natürlich ist es erstrebenswert, auch qualitative Aussagen auf systematische Weise zu gewinnen. Einen methodischen Zugang, an dessen Ausbau in der Theorie der automatischen Steuerung erst seit wenigen Jahren gearbeitet wird, liefert die strukturelle Analyse von automatisierten Systemen. Im Gegensatz zu den bekannten quantitativen mathematischen Verfahren der modernen Regelungstheorie, die in erster Linie für lineare zeitinvariante Systeme entwickelt wurden, ist die strukturelle Analyse prinzipiell für nichtlineare und zeitvariable Systeme geeignet. Selbst Systeme, die sowohl aus analog als auch aus binär arbeitenden Teilen bestehen — solche Kombinationen sind typisch für reale Systeme in der technischen Praxis! —, lassen sich mit dem methodischen Werkzeug der strukturellen Analyse behandeln. Darauf wurde in [6] eingegangen. Aber auch für große lineare zeitinvariante Systeme erweisen sich strukturelle Betrachtungen als außerordentlich nützlich. Es zeigt sich nämlich, daß viele Systemeigenschaften ihrem Wesen nach struktureller Natur sind und damit über ihr Vorhandensein oder Nichtvorhandensein ohne jede Zahlenrechnung entschieden werden kann. Im vorliegenden Artikel werden Pole und Nullstellen unter strukturellem Gesichtspunkt betrachtet, während in einem nachfolgenden Beitrag in dieser Zeitschrift eine strukturelle Stabilitätsuntersuchung, die vor allem für große, dezentral rückgekoppelte Systeme zweckmäßig ist, vorgestellt werden soll.

Bei der strukturellen Analyse geht man von einem Strukturmodell des Systems aus. Die Zusammenhänge zwischen dem DGLS bei Zustandsraum-Beschreibung des automatisierten Systems und dem Strukturmodell werden im Abschn. 1. erläutert.

Im Abschn. 2. wird dann nach strukturellen Entkopplungsnullstellen des Eingangs bzw. des Ausgangs gefragt. Diese existieren genau dann, wenn das System nicht strukturell zustandssteuerbar bzw. nicht strukturell zustandsbeobachtbar ist. Für strukturell vollständige Systeme — so nennt der Verfasser Systeme, die sowohl strukturell zustandssteuerbar als auch -beobachtbar sind — kann es daher nur Übertragungsnullstellen geben. Dem Nachweis der Existenz und der Feststellung der Anzahl struktureller Übertragungsnullstellen ist der Abschn. 3. gewidmet. Bei strukturell vollständigen Systemen sind die Pole des Systems die Eigenwerte der Systemmatrix $\boldsymbol{A}$. Meist zerfällt das Eigenwertproblem jedoch in mehrere, separat abarbeitbare Probleme kleinerer Ordnung. Diese Zerfallseigenschaften lassen sich bei der üblichen numerischen Behandlung des Eigenwertproblems nicht ohne weiteres erkennen, aber aus dem Strukturmodell des Systems sind sie leicht zu entnehmen (Abschn. 4.). Der Abschn. 5. handelt von der strukturellen Ermittlung des Grades der Zählerpolynome der Elemente der Übertragungsfunktionsmatrix. Zum Schluß wird noch ein großes Beispiel mit 28 Zustandsvariablen, 6 Steuereingängen und 6 Ausgängen diskutiert.

## 1. Strukturmodell des dynamischen Systems

Der Zustandsraumdarstellung linearer Regelungssysteme liegen bekanntlich folgende Beziehungen zugrunde:

1. DGLS, das das dynamische Verhalten des Zustandsvektors

$$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}\,\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\,\boldsymbol{u}(t)\,, \tag{1.1}$$

wobei $\boldsymbol{A}$ eine $n \times n$-Matrix und $\boldsymbol{B}$ eine $n \times m$-Matrix ist;

2. System der Ausgabegleichungen

$$\boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{C}\,\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{D}\,\boldsymbol{u}(t)\,, \tag{1.2}$$

wobei $\boldsymbol{C}$ eine $r \times n$-Matrix und $\boldsymbol{D}$ eine $r \times m$-Matrix ist;

3. System der Ausgangsrückführungsgleichungen

$$\boldsymbol{u}(t) = \boldsymbol{K}\,\boldsymbol{y}(t) \tag{1.3}$$

mit einer $m \times r$-Matrix $\boldsymbol{K}$.

Bei Verwendung der Laplace-Transformierten der zeitabhängigen Variablen, z. B.

$$\boldsymbol{x}^*(s) = \mathcal{L}\{\boldsymbol{x}(t)\} = \int_0^\infty e^{-st}\,\boldsymbol{x}(t)\,\mathrm{d}t\,, \tag{1.4}$$

kann man die Beziehungen (1.1) bis (1.3) zu einem einzigen algebraischen GLS zusammenfassen

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{0} & \boldsymbol{C} & \boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I} & \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{K} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \boldsymbol{y}^*(s) \\ \boldsymbol{x}^*(s) \\ \boldsymbol{u}^*(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{y}^*(s) \\ -\boldsymbol{x}(0) \\ \boldsymbol{u}^*(s) \end{bmatrix}. \tag{1.5}$$

Dabei symbolisieren $\boldsymbol{I}$ die $n \times n$-Einheitsmatrix und $\boldsymbol{0}$ Nullmatrizen des jeweils passenden Typs.

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Institutsteil Dresden.

Die Koeffizientenmatrizen

$$\boldsymbol{M}_{\mathrm{I}} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} & \boldsymbol{C} & \boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I} & \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{K} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} \text{ bzw. } \boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{0} & \boldsymbol{C} & \boldsymbol{D} \\ \boldsymbol{0} & \boldsymbol{A} & \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{K} & \boldsymbol{0} & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} \tag{1.6}$$

und der Anfangszustandsvektor $\boldsymbol{x}(0)$ bestimmen das Systemverhalten offenbar vollständig.

Durchmultiplikation der 2. Hyperzeile von Gl. (1.5) mit $(\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I})^{-1}$ und anschließendes Einsetzen in die 1. Hyperzeile liefert die Beziehung

$$\boldsymbol{y}^*(s) = [-\boldsymbol{C}(\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I})^{-1}\boldsymbol{B} + \boldsymbol{D}]\,\boldsymbol{u}^*(s) - \boldsymbol{C}(\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I})^{-1}\boldsymbol{x}(0) \tag{1.7}$$

$$= \boldsymbol{G}(s)\,\boldsymbol{u}^*(s) - \boldsymbol{C}(\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I})^{-1}\boldsymbol{x}(0) \tag{1.8}$$

Die Elemente der soeben eingeführten $r \times m$-**Übertragungsfunktionsmatrix** $\boldsymbol{G}(s)$ sind gebrochen rationale Funktionen in $s$. Das im folgenden erläuterte Strukturmodell abstrahiert völlig von den konkreten Zahlenwerten der Elemente der Matrizen $\boldsymbol{A}$, $\boldsymbol{B}$, $\boldsymbol{C}$, $\boldsymbol{D}$, $\boldsymbol{K}$, sondern benötigt lediglich die Information, ob die entsprechenden Matrizenelemente garantiert verschwinden oder nicht.

Jeder $k \times l$-Zahlenmatrix $\boldsymbol{X}$ kann man eine $k \times l$-**Strukturmatrix** $[\boldsymbol{X}]$ zuordnen. Dabei wird jedem nicht identisch verschwindenden Element der Matrix $\boldsymbol{X}$ ein Kreuz „×" an der entsprechenden Stelle von $[\boldsymbol{X}]$ zugewiesen; jedem Nullelement aus $\boldsymbol{X}$ wird eine Null „0" oder, für Überlegungen mit Papier und Bleistift meist bequemer, eine Leerstelle im $[\boldsymbol{X}]$-Tableau zugeordnet.

Jede quadratische Strukturmatrix $[\boldsymbol{X}]$ läßt sich umkehrbar eindeutig in einem **Strukturgraphen** $G(\boldsymbol{X})$ widerspiegeln: Die Knotenanzahl des Graphen $G(\boldsymbol{X})$ ist gleich der Ordnung der quadratischen Matrix $\boldsymbol{X}$. Die Knoten werden in der Reihenfolge der Zeilen von $\boldsymbol{X}$ durchnumeriert. Steht an der Stelle $(ij)$ der Matrix $[\boldsymbol{X}]$ ein Kreuz „×", so erscheint im Strukturgraphen $G(\boldsymbol{X})$ ein Bogen (oft auch „Zweig" oder „Kante" genannt), der vom Knoten $j$ zum Knoten $i$ gerichtet ist.

Die Gesamtheit der $r + n + m$ Knoten der Graphen $G(\boldsymbol{M})$ bzw. $G(\boldsymbol{M}_{\mathrm{I}})$ zerfällt in die Teilmengen der $r$ Ausgangsknoten (AK), der $n$ Zustandsknoten (ZK) und der $m$ Eingangsknoten (EK). Um eine zweite Knotenindizierung, die die natürlichen Zahlen von 1 bis $r + n + m$ durchläuft, zu vermeiden und die gewohnten Bezeichnungen beibehalten zu können, sollen die Knoten dieser Strukturgraphen mit

$$y_1, \ldots, y_{\mathrm{r}};\ 1, 2, \ldots, n;\ u_1, \ldots, u_{\mathrm{m}}$$

benannt werden.

Zur Erläuterung wird ein Beispiel mit $n = 6$, $m = 2$, $r = 3$ betrachtet. Das System werde numerisch durch die folgenden Zahlenmatrizen beschrieben:

$$\boldsymbol{A} = \begin{bmatrix} -2.18 & 4.73 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -2.89 & 0 & 3.29 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.22 & 2.37 & 0 & 0 & 4.83 \\ 0.09 & 0 & 0 & 0.83 & 0 & 2.01 \\ 0 & 0 & 0 & 3.05 & 0 & -0.56 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{B} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 2.98 & -0.75 \\ 0 & 2.92 \\ 0 & 0 \\ 0 & 4.38 \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{C} = \begin{bmatrix} 0 & -2.58 & 0.83 & 0 & 0 & 0 \\ 5.71 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3.58 & 0 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{D} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$\boldsymbol{K} = \begin{bmatrix} 2.57 & 1.92 & -5.71 \\ 0.75 & 0 & 0.08 \end{bmatrix}.$$

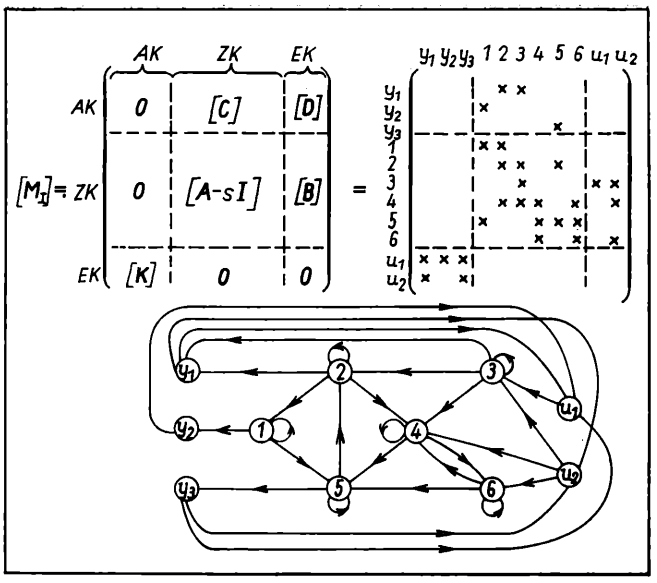



**Bild 1. Strukturmatrix $[\boldsymbol{M}_{\mathrm{I}}]$ und zugehörender Strukturgraph $G[\boldsymbol{M}_{\mathrm{I}}]$**
a) Aufbau der Matrix $[\boldsymbol{M}_{\mathrm{I}}]$ für ein Beispiel mit $n = 6$, $m = 2$ und $r = 3$
b) Strukturgraph zum Beispiel a)

Das Bild 1a zeigt die zu diesem System gehörende Strukturmatrix $[\boldsymbol{M}_{\mathrm{I}}]$. Der entsprechende Strukturgraph $G(\boldsymbol{M}_{\mathrm{I}})$ wurde im Bild 1b skizziert.

Bei der strukturellen Analyse von Systemen wird davon ausgegangen, daß die Zahlenwerte der „×"-Elemente der Strukturmatrizen nicht exakt angebbar sind. Es wird sogar grundsätzlich vorausgesetzt, daß die zugehörenden Zahlen-Realisierungen unabhängig voneinander beliebige Werte aus gewissen Schwankungsbereichen annehmen können. Besitzt eine Strukturmatrix $[\boldsymbol{X}]$ gerade $z$ nicht identisch verschwindende Elemente, so kann man jede feste Zahlenmatrix $\boldsymbol{X}$ mit der durch $[\boldsymbol{X}]$ vorgegebenen Struktur geometrisch als Punkt in einem $z$-dimensionalen Bereich deuten.

Eine wichtige Rolle im Rahmen der strukturellen Analyse spielen Ranguntersuchungen bei Strukturmatrizen. Der **strukturelle Rang** $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{X}]$ ist der maximale Rang, der bei den Zahlenmatrizen $\boldsymbol{X}$ gegebener Struktur $[\boldsymbol{X}]$ vorkommen kann, in Kurzschreibweise,

$$\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{X}] = \max_{\boldsymbol{X} \in [\boldsymbol{X}]} \mathrm{Rg}\,\boldsymbol{X}\,. \tag{1.9}$$

Einzelne, im Rahmen der gegebenen Struktur $[\boldsymbol{X}]$ zulässige Zahlenmatrizen können auf Grund numerischer Auslöschungseffekte einen kleineren Rang besitzen. Für „fast alle" Realisierungen $\boldsymbol{X}$ aber ist der numerische Rang $\mathrm{Rg}\,\boldsymbol{X}$ gleich dem strukturellen Rang $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{X}]$. Den Zusammenhang zwischen numerischem Rang und strukturellem Rang hat der Verfasser ausführlicher in [3] diskutiert.

Bei quadratischen Matrizen $[\boldsymbol{X}]$ stimmt der strukturelle Rang mit dem sog. Term-Rang des Strukturgraphen $G(\boldsymbol{X})$ überein. In der englischsprachigen Literatur wird in jüngster Zeit oft die Bezeichnung „generic rank" verwendet. Zur entsprechenden deutschen Bezeichnung „generischer Rang" konnte sich der Verfasser nicht entschließen, da ihm die Bezeichnung „struktureller Rang" sprachlich einfacher und sinnfälliger erscheint.

Um unwesentliche Fallunterscheidungen zu vermeiden, wird in diesem Beitrag vorausgesetzt, daß die Spalten von $[\boldsymbol{B}]$ bzw. die Zeilen von $[\boldsymbol{C}]$ strukturell linear unabhängig sind, d. h.

$$\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{B}] = m \leqq n \tag{1.10}$$

bzw.

$$\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{C}] = r \leqq n\,. \tag{1.11}$$

Eingedenk der Tatsache, daß die meisten technischen Systeme „nicht sprungfähig" sind, sei weiterhin vorausgesetzt:

$$\boldsymbol{D} = \boldsymbol{0}\,. \tag{1.12}$$

Da in diesem Beitrag die Rückkopplung noch keine Rolle spielt, sei im folgenden auch gesetzt:

$$\boldsymbol{K} = \boldsymbol{0}\,. \tag{1.13}$$

## 2. Strukturelle Entkopplungsnullstellen

Eine (komplexe) Zahl $s$ heißt Nullstelle eines Systems (1.5), wenn mindestens eine der folgenden Rangbedingungen gilt [4]:

$$\mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I} & \boldsymbol{B}\\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{0}\end{bmatrix} = \mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{C} & \boldsymbol{0}\\ \boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I} & \boldsymbol{B}\end{bmatrix} < n + \min(m,r) \tag{2.1}$$

oder

$$\mathrm{Rg}\,(\boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I},\boldsymbol{B}) < n \quad \text{oder} \quad \mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I}\end{bmatrix} < n\,.$$

Die Menge aller **System-Nullstellen** kann man einteilen in Entkopplungsnullstellen des Eingangs, Entkopplungsnullstellen des Ausgangs und in Übertragungsnullstellen. In diesem Abschnitt werden die Entkopplungsnullstellen betrachtet.

Ob ein vorgegebenes System Entkopplungsnullstellen hat oder nicht, darüber kann man grundsätzlich bereits durch Analyse des Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$ entscheiden. Neben dem im Abschn. 1 eingeführten Begriff des strukturellen Ranges werden dazu noch die Begriffe „eingangsverbunden" und „ausgangsverbunden" eingeführt:

Ein Zustand $x_i$, $i \in \{1, \dots, n\}$, heißt **eingangsverbunden**, wenn es im Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$ einen Weg (= Folge von Bögen, die im Sinne ihrer Orientierung zu durchlaufen sind) von mindestens einem der Eingangsknoten $u_1, \dots, u_m$ zum Zustandsknoten $i$ gibt.

Ein Zustand $x_i$, $i \in \{1, \dots, n\}$, heißt **ausgangsverbunden**, wenn es im Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$ einen Weg vom Zustandsknoten $i$ zu mindestens einem der Ausgangsknoten $y_1, \dots, y_r$ gibt.

Zur Erläuterung wird das im Abschn. 1. eingeführte Beispiel benutzt. Die Bilder 2a und 2b zeigen die Strukturmatrix $[\boldsymbol{M}]$ und den zugehörenden Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$. Offensichtlich ist hier jeder Zustandsknoten sowohl eingangsverbunden als auch ausgangsverbunden.

Ein numerisch gegebenes System mit der Systemmatrix $\boldsymbol{A}$ und der Eingangsmatrix $\boldsymbol{B}$ verfügt über **Entkopplungsnullstellen des Eingangs** (vgl. [4]), wenn sich Zahlen $s$ derart angeben lassen, daß gilt

$$\mathrm{Rg}\,(\boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I},\boldsymbol{B}) < n\,.$$

**Definition 1:** Die durch die Strukturmatrix $[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}]$ gegebene Klasse von Systemen weist strukturelle Entkopplungsnullstellen des Eingangs auf, wenn sich für alle zulässigen Realisierungen $(\boldsymbol{A},\boldsymbol{B})$ Zahlen $s$ derart angeben lassen, daß gilt

$$\mathrm{Rg}\,(\boldsymbol{A}-s\boldsymbol{I},\boldsymbol{B}) < n\,. \tag{2.2}$$

**Satz 1:** Das System $[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}]$ hat strukturelle Eingangsentkopplungsnullstellen, wenn

a) mindestens ein Zustand $x_i$ nicht eingangsverbunden ist oder
b) der strukturelle Rang

$$\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}] < n \tag{2.3}$$

ausfällt.

Die Zahl $s = 0$ ist genau dann strukturelle Eingangsentkopplungsnullstelle, wenn die Ungleichung (2.3) gilt. Zahlen $s \neq 0$ können nur dann strukturelle Eingangsentkopplungsnullstellen sein, wenn mindestens ein Zustandsknoten nicht eingangsverbunden ist.

**Beweis:** Für $s = 0$ folgt die Aussage des Satzes unmittelbar aus der Definition 1. Für $s \neq 0$ ist der entsprechende Teil des Satzes schwieriger zu zeigen. Er wurde in der Arbeit [5] als Lemma 4.2 formuliert und bewiesen.

**Definition 2** [3]: Die durch die Strukturmatrix $[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}]$ gegebene Klasse von Systemen heißt **strukturell zustandssteuerbar**, wenn für mindestens eine zulässige Realisierung $(\boldsymbol{A},\boldsymbol{B})$ die Bedingungen für die (numerische vollständige) Zustandssteuerbarkeit erfüllt sind.

**Satz 2:** Das System $[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}]$ hat genau dann keine strukturellen Eingangsentkopplungsnullstellen, wenn es strukturell zustandssteuerbar ist.

**Beweis:** In der Literatur [2] [3] [5] u. a. wurde ein notwendiges und hinreichendes Kriterium für die strukturelle Zustandssteuerbarkeit bewiesen. Es besagt, daß bei struktureller Zustandssteuerbarkeit sowohl alle Zustände eingangsverbunden sind als auch der strukturelle Rang $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}] = n$ ist. Aus dem Vergleich dieses Kriteriums mit dem Satz 1 ergibt sich sofort die zu beweisende Behauptung des Satzes 2.

Zur Illustration wird wieder das oben diskutierte Beispiel herangezogen. Jeder Zustand ist eingangsverbunden, vgl. Bild 2b. Es gilt auch $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}] = 6$, wie aus Bild 2c zu erkennen ist. Folglich weist dieses System keine strukturellen Eingangsnullstellen auf.

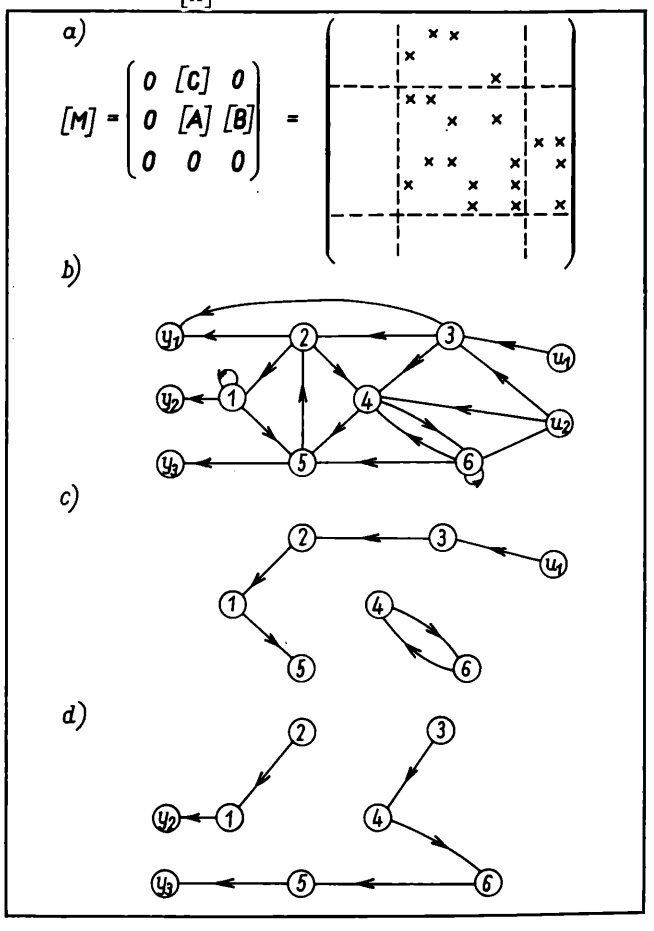
Generelle **Ableseregel zur Ermittlung des strukturellen Ranges** $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}]$ aus dem Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$:

Der strukturelle Rang ergibt sich aus der größtmöglichen Teilmenge von Bögen, die jeden Zustandsknoten höchstens einmal als Zielknoten berühren und die jeden Eingangs- oder Zustandsknoten höchstens einmal als Startknoten berühren dürfen.

Für ein zweites Beispiel mit $n = 6$, $m = r = 2$ wurde im Bild 3a die Strukturmatrix $[\boldsymbol{M}]$ und im Bild 3b der Strukturgraph

**Bild 2. Beispiel für ein System ohne strukturelle Entkopplungsnullstellen**

a) Strukturmatrix $[\boldsymbol{M}]$ (vgl. Bild 1a)
b) Strukturgraph $G(\boldsymbol{M})$
c) Nachweis, daß $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A},\boldsymbol{B}] = 6 = n$
d) Nachweis, daß $\mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix} = 6 = n$



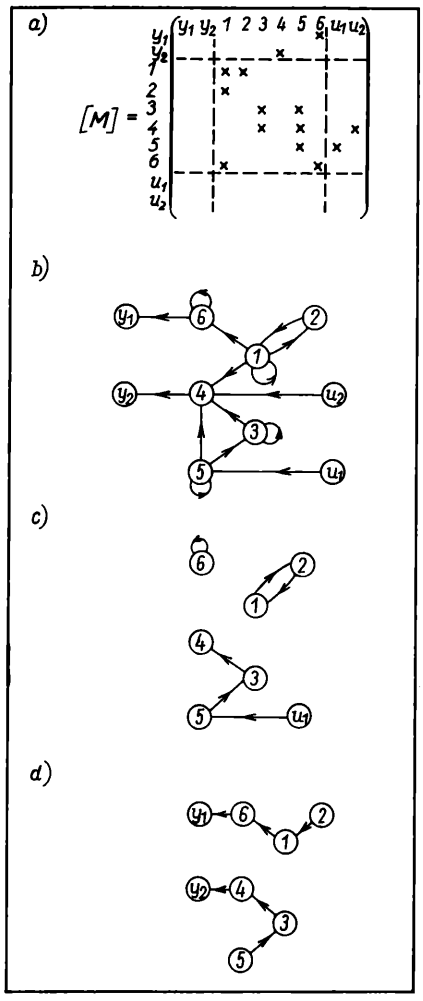



**Bild 3. Beispiel für ein System mit strukturellen Entkopplungsnullstellen**
a) Strukturmatrix $[\boldsymbol{M}]$
b) Zugehörender Strukturgraph $G(\boldsymbol{M})$
c) Nachweis, daß $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}] = 6 = n$
d) Nachweis, daß $\mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix} = 6 = n$

$G(\boldsymbol{M})$ angegeben. Das Bild 3b zeigt, daß die Zustände $x_1$, $x_2$ und $x_6$ nicht eingangsverbunden sind. Folglich hat das System strukturelle Eingangsentkopplungsnullstellen. Der strukturelle Rang $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}]$ ist mit $n = 6$ der maximal mögliche. Einen Teilgraphen, der $\mathrm{Rg}\,[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}] = 6$ gewährleistet, zeigt das Bild 3c.

Für die Ausgangsentkopplungsnullstellen ergeben sich analoge, ohne weiteren Kommentar verständliche Aussagen.

**Definition 1′:** Die durch die Strukturmatrix $\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix}$ gegebene Klasse von Systemen enthält **strukturelle Entkopplungsnullstellen des Ausgangs,** wenn sich für alle zulässigen Realisierungen $\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix}$ Zahlen $s$ derart angeben lassen, daß gilt

$$\mathrm{Rg}\begin{pmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I}\end{pmatrix} < n\,. \tag{2.3}$$

**Satz 1′:** Das System $\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix}$ hat strukturelle Ausgangsentkopplungsstellen, wenn

a) mindestens ein Zustand $x_i$ nicht ausgangsverbunden ist oder
b) der strukturelle Rang

$$\mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix} < n \tag{2.5}$$

ausfällt.

Die Zahl $s = 0$ ist genau dann strukturelle Ausgangsentkopplungsnullstelle, wenn die Ungleichung (2.5) gilt. Zahlen $s \neq 0$ können nur dann strukturelle Ausgangsentkopplungsnullstellen sein, wenn mindestens ein Zustandsknoten nicht ausgangsverbunden ist.

**Satz 2′:** Das System $\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix}$ hat genau dann keine strukturellen Ausgangsentkopplungsnullstellen, wenn es **strukturell zustandsbeobachtbar** ist.

Beide in den Bildern 2 und 3 dargestellten Beispiel-Systeme haben keine strukturellen Ausgangsentkopplungsnullstellen. Die Bilder zeigen, daß bei beiden Beispielen die Bedingungen für die strukturelle Zustandsbeobachtbarkeit erfüllt sind; denn alle Zustände sind ausgangsverbunden und $\mathrm{Rg}\begin{bmatrix}\boldsymbol{C}\\ \boldsymbol{A}\end{bmatrix} = 6 = n$, Bilder 2d und 3d.

Entkopplungsnullstellen sind stets auch zugleich **Eigenwerte** der Matrix $\boldsymbol{A}$. Strukturell vollständige Systeme weisen keine strukturellen Entkopplungsnullstellen auf. Dann bilden die Eigenwerte von $\boldsymbol{A}$ die **Pole** des Systems, und alle System-Nullstellen sind Übertragungsnullstellen. Um zahlreiche Fallunterscheidungen zu vermeiden, wird im folgenden vorausgesetzt, daß das vorgelegte System keine strukturellen Entkopplungsnullstellen hat, d. h., strukturell vollständig ist.

## 3. Strukturelle Übertragungsnullstellen

**Definition 3:** Ein strukturell vollständiges System enthält **strukturelle Übertragungsnullstellen** (vgl. [4]), wenn sich für alle Realisierungen der $(n + r) \times (n + m)$-Strukturmatrix $\begin{bmatrix}\boldsymbol{A} & \boldsymbol{B}\\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{0}\end{bmatrix}$ Zahlen $s$ derart angeben lassen, daß gilt

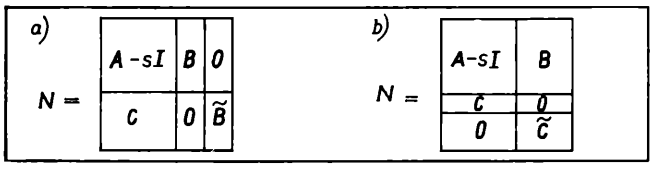
$$\mathrm{Rg}\,\boldsymbol{P}(s) = \mathrm{Rg}\begin{pmatrix}\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I} & \boldsymbol{B}\\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{0}\end{pmatrix} < n + \min\,(r, m) \tag{3.1}$$

Statt der im allgemeinen rechteckigen Matrix in Gl. (3.1) führt man im Falle $r \neq m$ eine quadratische Matrix $\boldsymbol{N}(s)$ durch Hinzufügen von $r - m > 0$ Spalten bzw. $m - r > 0$ Zeilen zur Matrix $\boldsymbol{P}(s)$ — wie im Bild 4 veranschaulicht — ein. Genau $|r - m|$ Elemente der $r \times (r - m)$-Strukturmatrix $[\widetilde{\boldsymbol{B}}]$ bzw. der $(m - r) \times m$-Strukturmatrix $[\widetilde{\boldsymbol{C}}]$, die in $r - m$ verschiedenen Zeilen von $\widetilde{\boldsymbol{B}}$ bzw. in $m - r$ verschiedenen Spalten von $\widetilde{\boldsymbol{C}}$ liegen, werden mit einem Kreuz „×" belegt. Die übrigen Elemente der Matrizen $[\widetilde{\boldsymbol{B}}]$ und $[\widetilde{\boldsymbol{C}}]$ werden Null gesetzt. In Abhängigkeit von der Auswahl der $r - m$ nicht identisch verschwindenden Zeilen von $\widetilde{\boldsymbol{B}}$ bzw. der $m - r$ nicht identisch verschwindenden Spalten von $\widetilde{\boldsymbol{C}}$, sind $\begin{pmatrix}r\\ r - m\end{pmatrix}$ bzw. $\begin{pmatrix}m\\ m - r\end{pmatrix}$ prinzipiell verschiedene Strukturmatrizen $[\widetilde{\boldsymbol{B}}]$ bzw. $[\widetilde{\boldsymbol{C}}]$ zu unterscheiden. (Durch den Zusatz „prinzipiell" soll auf die Tatsache hingewiesen werden, daß die Reihenfolge der Spalten von $\widetilde{\boldsymbol{B}}$ bzw. der Zeilen von $\widetilde{\boldsymbol{C}}$ keine Rolle spielt).

**Satz 3:** Die Bedingung (3.1) ist gleichwertig der Bedingung $\det \boldsymbol{N}(s) = 0$

$$\left.\begin{array}{l}\text{für alle Realisierungen } \boldsymbol{N}(s) \text{ mit}\\ \widetilde{\boldsymbol{B}} \in \left\{\text{Menge der } \begin{pmatrix}r\\ r - m\end{pmatrix} \text{ Strukturmatrizen } [\widetilde{\boldsymbol{B}}]\right\} \text{ bzw.}\\ \widetilde{\boldsymbol{C}} \in \left\{\text{Menge der } \begin{pmatrix}m\\ r - m\end{pmatrix} \text{ Strukturmatritzen } [\widetilde{\boldsymbol{C}}]\right\}\end{array}\right\} \tag{3.2}$$

**Bild 4. Aufbau der Matrix $\boldsymbol{N}$ für $r \neq m$**
a) Fall $r > m$ b) Fall $r < m$



**Beweis:** Für $m = r$ ist keine Erweiterung erforderlich, und die Bedingung (3.2) wird

$$\det \boldsymbol{N}(s) = \det \boldsymbol{P}(s) = 0 .$$

Diese Aussage ist offenbar mit Gl. (3.1) bei $m = r$ gleichwertig.

Für $m \neq r$ wird der Fall $r > m$ betrachtet. Die quadratische Matrix $\boldsymbol{N}$ hat die Ordnung $n + r$.

a) Die Bedingung (3.1) sei erfüllt. Dann wird

$$\operatorname{Rg} \boldsymbol{N} < n + m + (r - m) = n + r , \tag{3.3}$$

da die $(r - m)$ hinzugefügten Spalten eine Rangerhöhung um höchstens $(r - m)$ bringen können. Aus Gl. (3.3) folgt Gl. (3.2).

b) Ist die Bedingung (3.1) nicht erfüllt, so hat die ursprüngliche $(n + r) \times (n + m)$-Matrix $\boldsymbol{P}(s)$ den Rang $n + m$. Also müssen sämtliche Spalten dieser Matrix voneinander unabhängig sein. Von den $n + r$ Zeilen sind dann ebenfalls $n + m$ Zeilen voneinander unabhängig, und die übrigen $r - m$ Zeilen sind von diesen linear abhängig. Da auf Grund der vorausgesetzten strukturellen Vollständigkeit die ersten $n$-Zeilen von $\boldsymbol{P}(s)$ gewiß voneinander unabhängig sind (vgl. Definition 1), kann man die $(r - m)$ abhängigen Zeilenvektoren innerhalb der Submatrix $(\boldsymbol{C}, \boldsymbol{0})$ wählen. Die Matrix $\widetilde{\boldsymbol{B}}$ kann anschließend so festgelegt werden, daß ihre $r - m$ nichtverschwindenden Zeilen innerhalb der erweiterten Matrix $(\boldsymbol{C}, \boldsymbol{0}, \widetilde{\boldsymbol{B}})$ gerade die soeben gewählten $r - m$ abhängigen Zeilen aus $(\boldsymbol{C}, \boldsymbol{0})$ nach rechts fortsetzen. Die dadurch gebildeten $m - r$ Zeilen aus $(\boldsymbol{C}, \boldsymbol{0}, \widetilde{\boldsymbol{B}})$ sind nun offensichtlich untereinander und von den übrigen $n + m$ Zeilen der erweiterten Matrix $\boldsymbol{N}(s)$ linear unabhängig. Es sind somit zulässige Matrizen $\widetilde{\boldsymbol{B}}$ angebbar, für die sämtliche $n + r$ Zeilenvektoren der zugehörenden Realisierung von $\boldsymbol{N}(s)$ voneinander unabhängig sind. Mithin kann die Bedingung (3.2) nicht erfüllt sein.

Mit a) und b) wurde die Gleichwertigkeit der Bedingungen (3.1) und (3.2) für $r > m$ gezeigt.

Der Fall $r < m$ läßt sich ganz analog behandeln und wird hier lediglich aus Platzgründen nicht vorgeführt. Die behauptete Aussage des Satzes 3 ist damit vollständig bewiesen.

Aus der linearen Algebra ist bekannt, daß sich die **Determinante** einer quadratischen Matrix $d$-ter Ordnung als vorzeichenbewertete Summe von Termen berechnen läßt, deren jeder das Produkt von $d$ nichtverschwindenden Matrixelementen darstellt, wobei diese $d$ Elemente aus $d$ verschiedenen Zeilen und $d$ verschiedenen Spalten zu entnehmen sind. Die Beziehung

$$\det \boldsymbol{N}(s) = 0$$

liefert ein Polynom in $s$, wenn in Determinantentermen auch Faktoren $(a_{ii} - s)$ mit $1 \leqq i \leqq n$ enthalten sind. Die Maximalanzahl derartiger Faktoren, die in einem der Determinantenterme vorkommt, ergibt eine obere Schranke für die Anzahl der (strukturellen) Übertragungsnullstellen des Systems. Aus der erläuterten Determinantendefinition lassen sich offensichtliche Schlußfolgerungen ziehen:

1. Sind beide Matrizen $\boldsymbol{B}$ und $\boldsymbol{C}$ regulär (und damit quadratisch von der Ordnung $n$), so existieren keine Übertragungsnullstellen.

   Beweis: In diesem Falle wird

   $$\det \boldsymbol{N} = \det \boldsymbol{P} = \det \boldsymbol{C} \cdot \det \boldsymbol{B} \neq 0 .$$

   Es gibt keinen Determinantenterm, der Elemente von $(\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I})$ enthält.

   Bemerkung: Genauer müßte man sagen, daß im Endlichen keine Übertragungsnullstellen existieren. Für $s \to \infty$ gilt für die Übertragungsfunktionsmatrix $\boldsymbol{G}(s) \to \boldsymbol{0}$, da $\boldsymbol{D} = \boldsymbol{0}$ vorausgesetzt wurde.

   Die Schlußfolgerung 1. zeigt, daß die Existenz von Übertragungsnullstellen an den Rechteck-Typ von $\boldsymbol{B}$ und $\boldsymbol{C}$ gebunden ist.

2. Ist es nicht möglich, aus den Elementen der Matrix $[\boldsymbol{N}]$ wenigstens einen Satz von $n + \max(m, r)$ nicht identisch verschwindenden Elementen derart auszuwählen, daß ihr Produkt gerade einen Determinantenterm ergibt, so gilt für alle Realisierungen $\boldsymbol{N} \in [\boldsymbol{N}]$

   $$\det \boldsymbol{N}(s) = 0 ,$$

   unabhängig von der Wahl des Zahlenparameters $s$. In einem solchen Fall nennt man das System **strukturell degeneriert.**

Um bei einer durch $[\boldsymbol{A}]$, $[\boldsymbol{B}]$, $[\boldsymbol{C}]$ vorgegebenen Systemstruktur die Fragen nach Existenz und struktureller Anzahl von Übertragungsnullstellen zu beantworten, muß die Bedingung (3.2) ausgewertet werden. Dafür ist grundsätzlich jede Methode zur **symbolischen Determinantenberechnung** geeignet. Auf derartige Methoden wurde u. a. in [7] detailliert eingegangen.

Im folgenden soll die sogenannte Flußgraphen-Methode den weiteren Überlegungen zugrunde gelegt werden.

Jede quadratische Matrix $\boldsymbol{D}$ der Ordnung $d$ läßt sich umkehrbar eindeutig in einem **Flußgraphen** widerspiegeln, der $d$ Knoten besitzt und dessen Bogenanzahl mit der Anzahl der nichtverschwindenden Elemente der Matrix $\boldsymbol{D}$ übereinstimmt. Falls das Element $d_{ij} \neq 0$ ist, so führt ein Bogen vom Knoten $j$ zum Knoten $i$, der Wert $d_{ij}$ wird als „Gewicht" an diesem Bogen notiert.

Die Berechnung der Determinate det $\boldsymbol{D}$ beruht auf der Ermittlung aller Schleifen innerhalb des Flußgraphen. Eine orientierte **Schleife** ist ein zusammenhängender Teilgraph, von dessen Knoten jeweils genau ein Bogen fortführt und ein Bogen hinführt. Sogenannte Selbstschleifen bestehen aus einem einzigen Bogen, der im gleichen Knoten beginnt und endet. Ein nicht notwendig zusammenhängender, alle Knoten enthaltender Teilgraph heißt eine **Schleifenfamilie,** wenn zu jedem Knoten genau ein Bogen hinführt und von jedem Knoten genau ein Bogen fortführt. Eine Schleifenfamilie besteht demnach aus einer einzigen Schleife oder mehreren knotendisjunkten Schleifen. Jeder Determinantenterm entspricht einer Schleifenfamilie des Flußgraphen. Der Absolutwert des Termes ergibt sich als Produkt der Beträge der Gewichte aller Bögen der entsprechenden Schleifenfamilie.

Bei der hier zu diskutierenden Anwendung der Flußgraphen-Methode ist die Matrix $\boldsymbol{D}$ gleich der oben eingeführten quadratischen Matrix $\boldsymbol{N}$ mit der Ordnung $d = n + \max(r, m)$. Wie im Abschn. 1. erläutert kann man die Strukturmatrix $[\boldsymbol{N}]$ und den zugehörenden Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N})$ einführen. Der Flußgraph zur Matrix $\boldsymbol{N}$ unterscheidet sich vom Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N})$ lediglich durch die Zusatzinformation der „Gewichte" $d_{ij} \neq 0$ an den Bögen. Für strukturelle Untersuchungen ist die im Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N})$ enthaltene Information ausreichend.

Vergleicht man den Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M}_I)$ gemäß Abschn. 1. mit dem jetzt eingeführten Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N})$ zum gleichen (durch $[\boldsymbol{A}]$, $[\boldsymbol{B}]$, $[\boldsymbol{C}]$ gegebenen) System, so fällt als Hauptunterschied auf, daß im Graphen $G(\boldsymbol{N})$ die Ausgangsknoten (AK) und die Eingangsknoten (EK) zusammenfallen. In den Beispielbildern sind sie als Eingangsknoten $u_1$, $u_2$, ... gekennzeichnet. Die Details lassen sich an Beispielen rasch erkennen. Man vergleiche dazu das Bild 5 mit dem Bild 1.

Untersucht wird nun das erstmalig im Abschn. 1. verwendete Beispiel bezüglich seiner strukturellen Übertragungsnullstellen. Bild 5a zeigt einen Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N})$ mit der $3 \times 1$-Strukturmatrix $[\times \times \times]^T$ anstelle von $[\widetilde{\boldsymbol{B}}]$. Die Bilder 5b, 5c bzw. 5d zeigen je eine Schleifenfamilie der Graphen $G(\boldsymbol{N})$ mit $[\widetilde{\boldsymbol{B}}] = [0 \times 0]^T$, $[\widetilde{\boldsymbol{B}}] = [\times\ 0\ 0]^T$ bzw. $[\widetilde{\boldsymbol{B}}] = [0\ 0 \times]^T$. Der zu Bild 5b gehörende Determinantenterm liefert ein Polynom 3. Grades in $s$, während die Terme gemäß Bild 5c und 5d je ein Polynom 1. Grades in $s$ ergeben.

Man überzeugt sich leicht davon, daß sich für $[\widetilde{\boldsymbol{B}}] = [0\ 0 \times]^T$ kein Determinantenterm höheren als 1. Grades in $s$ finden läßt.

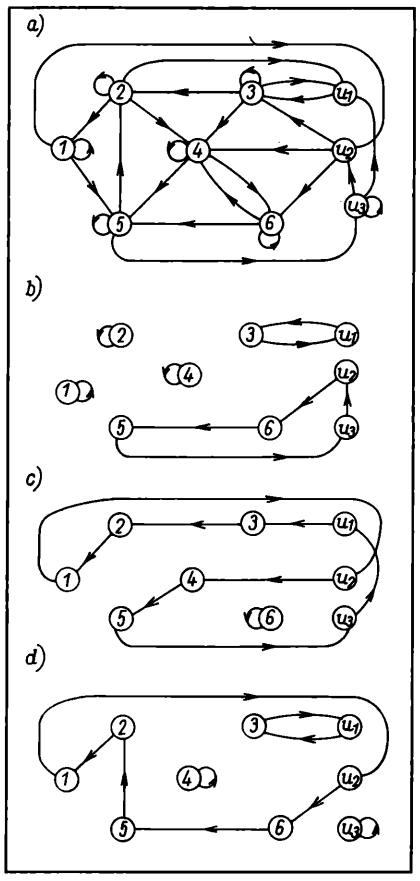



**Bild 5. Ermittlung der strukturellen Übertragungsnullstellen zum Beispiel gemäß Bild 1**

a) Strukturgraph $G(\boldsymbol{N})$ mit $[\times \times \times]^T$ anstelle von $[\boldsymbol{B}]$
b) Schleifenfamilie mit 5 Einzelschleifen (3 Selbstschleifen)
c) Schleifenfamilie mit 2 Einzelschleifen (1 Selbstschleife)
d) Schleifenfamilie mit 4 Einzelschleifen

Also hat das System höchstens eine strukturelle Übertragungsnullstelle. Möglicherweise aber lassen sich für jede komplexe Zahl $s$ Zahlenmatrizen $\boldsymbol{N}(s)$ der vorgegebenen Struktur $[\boldsymbol{N}]$ angeben, für die $\det \boldsymbol{N}(s) \neq 0$ gilt. Dann hätte das System keine strukturellen Übertragungsnullstellen.

Für den allgemeinen Fall $m \neq r$ lassen sich aus den Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N})$ nicht ohne weiteres vollständige Aussagen über die Existenz und die Anzahl struktureller Übertragungsnullstellen gewinnen. Die dabei auftretenden Schwierigkeiten lassen sich bereits bei Systemen mit $n = 3$, $m = 1$, $r = 2$ erläutern.

Für eine gegebene Strukturmatrix

$$\begin{bmatrix} [\boldsymbol{A}] & [\boldsymbol{B}] \\ [\boldsymbol{C}] & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc:cc} \times & \times & & & \\ & \times & \times & & \\ & & \times & \times & \\ \hdashline & & \times & & \\ \times & & \times & & \end{array}\right] \text{ wird}$$

$$[\boldsymbol{N}_1] = \left[\begin{array}{ccccc} \times & \times & & & \\ & \times & \times & & \\ & & \times & \times & \\ & & \times & & \times \\ \times & & \times & & \end{array}\right] \text{ und}$$

$$[\boldsymbol{N}_2] = \left[\begin{array}{ccc:cc} \times & \times & & & \\ & \times & \times & & \\ & & \times & \times & \\ \hdashline & & \times & & \\ \times & & \times & & \times \end{array}\right]$$

Das System ist strukturell vollständig. Die Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N}_1)$ und $G(\boldsymbol{N}_2)$ enthalten jeweils Schleifenfamilien mit 2 Selbstschleifen. Folglich gibt es zu fast allen Realisierungen der quadratischen Matrizen $\boldsymbol{N}_1(s)$ bzw. $\boldsymbol{N}_2(s)$ zwei komplexe Zahlen $s$, die der Bedingung $\det \boldsymbol{N}_1(s) = 0$ bzw. $\det \boldsymbol{N}_2(s) = 0$ genügen. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, daß das vorgelegte System zwei strukturelle Übertragungsnullstellen hat. Eine Zahl $s$ ist nur dann Übertragungsnullstelle, wenn die Gleichungen $\det \boldsymbol{N}_1(s) = 0$ und $\det \boldsymbol{N}_2(s) = 0$ gleichzeitig gelten. Konkretisiert man das diskutierte System zu

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{A} & \boldsymbol{B} \\ \boldsymbol{C} & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc:c} a_{11} & 1 & & \\ & a_{22} & 1 & \\ & & a_{33} & 1 \\ \hdashline 0 & 0 & 1 & \\ 1 & 0 & 1 & \end{array}\right],$$

so liefert eine einfache Rechnung

$$\det \boldsymbol{N}_1(s) = (s - a_{11})\,(s - a_{22}) + 1 = 0 \text{ bzw.}$$

$$\det \boldsymbol{N}_2(s) = (s - a_{11})\,(s - a_{22}) = 0\,.$$

Offensichtlich existieren keine gemeinsamen Wurzeln dieser beiden Polynome. Also besitzen alle durch Zahlenzuordnungen für $a_{11}$, $a_{22}$, $a_{33}$ festlegbaren Systeme keine (numerischen) Übertragungsnullstellen.

Man betrachte nun das durch Abänderung der $\boldsymbol{C}$-Matrix entstehende System

$$\begin{bmatrix} [\boldsymbol{A}] & [\boldsymbol{B}] \\ [\boldsymbol{C}] & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc:c} \times & \times & & \\ & \times & \times & \\ & & \times & \times \\ \hdashline & \times & \times & \\ \times & \times & & \end{array}\right]$$

das ebenfalls strukturell vollständig ist. Der Strukturgraph $G(\boldsymbol{N}_1)$ enthält Schleifenfamilien mit maximal einer Selbstschleife, der Strukturgraph $G(\boldsymbol{N}_2)$ Schleifenfamilien mit maximal 2 Selbstschleifen. Folglich kann das System höchstens eine strukturelle Übertragungsnullstelle besitzen. Das konkretisierte System

$$\left[\begin{array}{ccc:c} a_{11} & 1 & & \\ & a_{22} & 1 & \\ & & a_{33} & 1 \\ \hdashline & -1 & 1 & \\ -2 & & 1 & \end{array}\right]$$

liefert

$$\det \boldsymbol{N}_1(s) = s - a_{11} - 2 \text{ mit der Wurzel } s_{1,1} = a_{11} + 2 \text{ und}$$

$$\det \boldsymbol{N}_2(s) = (s - a_{11} - 1)\,(s - a_{22} - 1) \text{ mit}$$

$$s_{2,1} = a_{11},\ s_{2,2} = a_{22} + 1\,.$$

Es gibt ersichtlich maximal eine gemeinsame Wurzel, nämlich für die Parameterkombination $a_{22} = a_{11} + 1$. Nur unter dieser Bedingung besitzt das System eine Übertragungsnullstelle. Es existiert daher keine strukturelle Übertragungsnullstelle im Sinne der Definition 3.

Aus der vorstehenden Erläuterung wird deutlich, daß man im Falle $m \neq r$ aus der Struktur des Systems lediglich eine obere Abschätzung für die Zahl der Übertragungsnullstellen angeben kann, die jedoch für keine Zahlenrealisierung des Systems zutreffen muß.

**Vorschrift zur Abschätzung der Anzahl von Übertragungsnullstellen im Falle $m \neq r$:**

1. Ermittle die Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N}_j)$ für $j = 1, \ldots, \binom{r}{r-m}$ bzw. $\binom{m}{m-r}$, wobei die Matrizen $\boldsymbol{N}_j$ gemäß Bild 4 aufgebaut sind.
2. Suche in $G(\boldsymbol{N}_j)$ eine Schleifenfamilie mit der höchsten Anzahl $ss^{(j)}$ von Selbstschleifen, die zu den Hauptdiagonalelementen $n_{ii}$, $1 \leqq i \leqq n$, gehören.

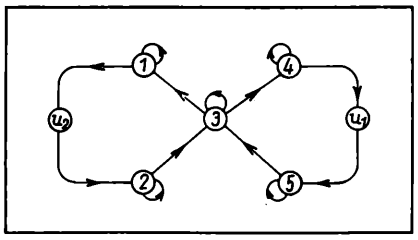


Bild 6. Beispiel für ein degeneriertes System

3. Das Minimum $\min_j ss^{(j)}$, das sich in allen $\binom{r}{r-m}$ bzw. $\binom{m}{m-r}$ Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N}_j)$ findet, liefert eine obere Abschätzung für die Anzahl der Übertragungsnullstellen, die in den betrachteten Systemklassen vorkommen können.
4. Der unter Pkt. 3 erhaltene Wert liefert eine obere Abschätzung für die Anzahl struktureller Übertragungsnullstellen.

Der Fall $m = r$, der bereits in [10] diskutiert wurde, liefert übersichtlichere Aussagen. Es ist nur eine Matrix $\boldsymbol{N}(s)$, die mit der in Ungleichung (3.1) eingeführten Systemmatrix $\boldsymbol{P}(s)$ übereinstimmt, zu untersuchen. Der Strukturgraph $G(\boldsymbol{N})$ besitzt $n + m = n + r$ Knoten.

**Vorschrift zur Bestimmung der Anzahl struktureller Übertragungsnullstellen im Falle $m = r$:**

1. Ermittle den Strukturgraphen $G(\boldsymbol{N}) = G(\boldsymbol{P})$.
2. Suche in $G(\boldsymbol{N})$ eine Schleifenfamilie mit der höchsten Anzahl $ss$ von Selbstschleifen.
3. Die Anzahl $ss$ ist gleich der „strukturellen Anzahl" von Übertragungsnullstellen für Systeme der betrachteten Struktur.

*Erläuterung*: Existieren in $G(\boldsymbol{N})$ mehrere Schleifenfamilien mit der gleichen Anzahl von Selbstschleifen, so ist es auf Grund numerischer Auslöschungseffekte möglich, daß sich für gewisse Zahlenmatrizen $\boldsymbol{N}(s)$ weniger als $ss$ Übertragungsnullstellen ergeben oder daß das System numerisch degeneriert, d. h., det $\boldsymbol{N}(s) = 0$ für alle $s$. Für fast alle Realisierungen von $\boldsymbol{N}(s)$ aber ist die Zahl der Übertragungsnullstellen gleich $ss$.
Zum Schluß dieses Abschnitts wird der im Bild 6 skizzierte Strukturgraph betrachtet. Es gibt keine Schleifenfamilie, die alle 7 Knoten des Graphen erfaßt. Folglich ist dieses System strukturell degeneriert.

## 4. Strukturelle Überlegungen zur vereinfachten Ermittlung der Pole eines gegebenen Systems

Bei einem strukturell vollständigen System erhält man dessen Pole aus der Gleichung

$$\det(\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I}) = 0\,. \tag{4.1}$$

Die Determinante ergibt sich als Polynom $n$-ten Grades in $s$, dessen Nullstellen zu bestimmen sind. Mit anderen Worten: Die Pole des Systems sind gerade die Eigenwerte der $n$-reihigen quadratischen Matrix $\boldsymbol{A}$.
Die praktische Erfahrung lehrt, daß bei den meisten größeren Regelungsproblemen ($n > 10$) das **Eigenwertproblem $n$-ter Ordnung in mehrere, unabhängig voneinander lösbare Eigenwertprobleme niedrigerer Ordnung** zerfällt. Diese Zerfallseigenschaften kann man der Strukturmatrix $[\boldsymbol{A}]$ entnehmen oder, damit gleichwertig, aus dem Strukturgraphen $G(\boldsymbol{A})$ ablesen. Die Menge aller $n$ Zustandsknoten läßt sich in disjunkte Teilmengen zerlegen, die jeweils für sich eine Äquivalenzklasse bilden. Eine Äquivalenzklasse $\boldsymbol{K}$ ist dadurch charakterisiert, daß je zwei Knoten $i$ und $j$ aus $\boldsymbol{K}$ durch einen von $i$ nach $j$ führenden Weg verbunden sind. (Es gibt also sowohl einen Weg von $i$ nach $j$ als auch einen Weg von $j$ nach $i$. In der Terminologie der Graphentheorie bezeichnet man jede solche Äquivalenzklasse als eine „starke Komponente" des Graphen $G(\boldsymbol{A})$.) Sämtliche $l$ Äquivalenzklassen lassen sich auf natürliche Weise derart ordnen, daß nach Umindizierung der Knoten des Graphen die dementsprechend umgeordnete Matrix $\boldsymbol{A}$ die Gestalt einer oberen Quasi-Dreiecksmatrix annimmt. Jeder Äquivalenzklasse $\boldsymbol{K}_\lambda$ mit $k_\lambda$ Knoten entspricht eine quadratische Hauptdiagonal-Submatrix der Ordnung $k_\lambda$, wobei $\sum_{\lambda=1}^{l} k_\lambda = n$. Bei insgesamt $l$ Äquivalenzklassen sind daher statt eines Eigenwertproblems $n$-ter Ordnung $l$ Eigenwertprobleme der meist sehr viel niedrigeren Ordnung $k_\lambda$ ($\lambda = 1, \ldots, l$) separat zu lösen. Das Aufsuchen der Äquivalenzklassen und die anschließende zweckmäßige Umordnung der Zustandsvariablen wurde in [11] ausführlich beschrieben. In den meisten Fällen ist die Zerlegung des Eigenwertproblems aus dem Strukturgraphen $G(\boldsymbol{A})$ sofort ablesbar.
Als 1. Beispiel wird der Strukturgraph $G(\boldsymbol{A})$ zu der im Abschn. 1 notierten 6-reihigen Strukturmatrix $\boldsymbol{A}$ diskutiert. Aus Bild 7a ist zu erkennen, daß die Zustände $\{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6\}$ sowie $\{x_3\}$ je eine Äquivalenzklasse bilden. Die entsprechend umgeordnete Strukturmatrix $[\boldsymbol{A}]$ hat die Gestalt

$$[\boldsymbol{A}] = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 1 & 2 & 4 & 5 & 6 & 3 \end{array} \\ \begin{bmatrix} \times & \times & & & & \\ & & & \times & & \times \\ & \times & & & \times & \times \\ \times & & \times & & \times & \\ & & \times & & \times & \\ & & & & & 0 \end{bmatrix} \end{array}$$

Für dieses Beispiel erhält man $l = 2$, $k_1 = 5$, $k_2 = 1$. Das Eigenwertproblem der Ordnung $n = 6$ zerfällt in ein Eigenwertproblem der Ordnung 5 und in eines der Ordnung 1.
Als 2. Beispiel wird der Strukturgraph $G(\boldsymbol{A})$ zu der im Abschn. 2. eingeführten 6reihigen Matrix $[\boldsymbol{A}]$ betrachtet. Aus Bild 7b ist zu erkennen, daß die Zustände $\{x_4\}$, $\{x_6\}$, $\{x_1, x_2\}$, $\{x_3\}$ und $\{x_5\}$ jeweils eine Äquivalenzklasse bilden. Die umgeordnete Matrix $[\boldsymbol{A}]$ hat folgendes Aussehen:

$$[\boldsymbol{A}] = \begin{array}{c} \\ 4 \\ 6 \\ 1 \\ 2 \\ 3 \\ 5 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} 4 & 6 & 1 & 2 & 3 & 5 \end{array} \\ \begin{bmatrix} & & \times & & & \times \\ \times & \times & \times & & \times & \\ & & \times & \times & & \\ & & \times & & & \\ & & & & \times & \times \\ & & & & & \times \end{bmatrix} \end{array}$$

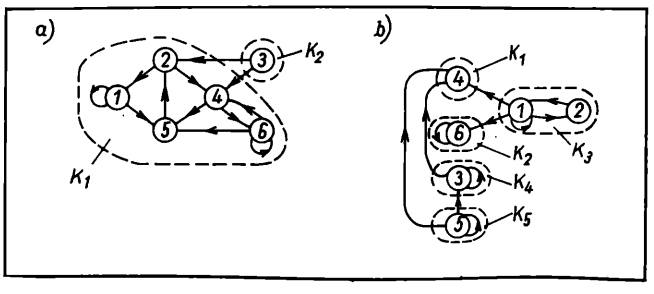
Für dieses Beispiel gilt $l = 5$, $k_1 = k_2 = k_4 = k_5 = 1$ sowie $k_3 = 2$.

## 5. Ermittlung des Grades der Zählerpolynome der Elemente der Übertragungsfunktionsmatrix

Die Übertragungsfunktionsmatrix

$$\boldsymbol{G}(s) = -\boldsymbol{C}(\boldsymbol{A} - s\boldsymbol{I})^{-1}\boldsymbol{B} = \boldsymbol{C}(s\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})^{-1}\boldsymbol{B} \tag{5.1}$$

Bild 7. 2 Beispiele für Äquivalenzklassen bei $n = 6$ Zuständen
a) $K_1 = \{x_1, x_2, x_4, x_5, x_6\}$, $K_2 = \{x_3\}$
b) $K_1 = \{x_4\}$, $K_2 = \{x_6\}$, $K_3 = \{x_1, x_2\}$, $K_4 = \{x_3\}$, $K_5 = \{x_5\}$



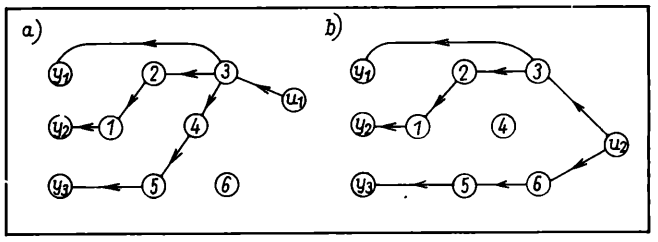



**Bild 8. Grafische Ermittlung des Grades der Zählerpolynome der Elemente der Übertragungsfunktionsmatrix $G(s)$**

a) Kürzeste Wege vom Eingangsknoten $u_1$ zu den Ausgangsknoten $y_1$, $y_2$ und $y_3$
b) Kürzeste Wege vom Eingangsknoten $u_2$ zu den Ausgangsknoten $y_1$, $y_2$ und $y_3$

ist vom Typ $r \times m$, ihre Elemente sind gebrochen rationale Funktionen in $s$. Bei vollständig zustandssteuerbaren und -beobachtbaren Systemen ergeben sich die Nennerpolynome übereinstimmend zu

$$\det(s\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A}) = s^n + a_{n-1}s^{n-1} + \cdots + a_1 s + a_0 . \qquad (5.2)$$

Die Zählerpolynome können in ihrem Grade für jedes Matrixelement unterschiedlich sein.

Bei der Ermittlung der gebrochen rationalen Funktionen für die Elemente von $\boldsymbol{G}(s)$ aus einzelnen berechneten oder gemessenen Funktionswerten für spezielle Argumentwerte $s$ (z. B. mit Hilfe von Interpolationsverfahren [7]) ist es sehr hilfreich, wenn man den Grad der einzusetzenden Polynome von vornherein kennt. Es zeigt sich, daß man den Grad der Zählerpolynome allein aus strukturellen Betrachtungen bestimmen kann.

Durch Anwendung des Satzes von *Cayley-Hamilton* läßt sich die Richtigkeit der folgenden Darstellungsform für die Übertragungsfunktionsmatrix verifizieren [8]

$$\boldsymbol{G}(s) = \frac{1}{\det(s\boldsymbol{I} - \boldsymbol{A})} [(s^{n-1} + a_{n-1}s^{n-2} + \ldots + a_1)\boldsymbol{CB} + (s^{n-2} + a_{n-1}s^{n-3} + \ldots + a_2)\boldsymbol{CAB} + \ldots + (s + a_{n-1})\boldsymbol{CA}^{n-2}\boldsymbol{B} + \boldsymbol{CA}^{n-1}\boldsymbol{B}] . \qquad (5.3)$$

Die Matrizen $\boldsymbol{CB}, \boldsymbol{CAB}, \ldots, \boldsymbol{CA}^{n-1}\boldsymbol{B}$ sind alle vom Typ $r \times m$. Das Zählerpolynom des Elements $g_{\varrho\mu}(s)$ läßt sich so darstellen,

$$(s^{n-1} + a_{n-1}s^{n-2} + \ldots + a_1)(\boldsymbol{CB})_{\varrho\mu} + \ldots + (s + a_{n-1})(\boldsymbol{CA}^{n-2}\boldsymbol{B})_{\varrho\mu} + (\boldsymbol{CA}^{n-1}\boldsymbol{B})_{\varrho\mu} , \qquad (5.4)$$

wobei $1 \leqq \varrho \leqq r$ und $1 \leqq \mu \leqq m$. Man entnimmt der Beziehung (5.4), daß die niedrigste $\boldsymbol{A}$-Potenz, zu der ein nichtverschwindendes Element $(\boldsymbol{CA}^j\boldsymbol{B})_{\varrho\mu}$ gehört, den Grad des Zählerpolynoms von $g_{\varrho\mu}(s)$ zu $n - j - 1$ festlegt.

Das Element $(\boldsymbol{CA}^j\boldsymbol{B})_{\varrho\mu}$ kann man als Summe von Produkten interpretieren, die jeweils aus $j + 2$ Faktoren bestehen, nämlich aus einem Element der Matrix $\boldsymbol{C}$, aus $j$ (nicht unbedingt voneinander verschiedenen) Elementen der Matrix $\boldsymbol{A}$ und aus einem Element der Matrix $\boldsymbol{B}$. Bei der Summenbildung können in Ausnahmefällen numerische Auslöschungen auftreten. Diese entfallen bei geeigneter geringfügiger Variation von Elementewerten der Matrizen $\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}, \boldsymbol{C}$. Bei strukturellen Betrachtungen werden diese atypischen Ausnahmefälle ignoriert und Aussagen getroffen, die für „fast alle" Zahlenrealisierungen der gegebenen Systemstruktur gelten.

Im Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$, vgl. Abschn. 1., entsprechen den nichtverschwindenden Elementen $(\boldsymbol{CA}^j\boldsymbol{B})_{\varrho\mu}$ Wege vom Eingangsknoten $u_\mu$ zum Ausgangsknoten $y_\varrho$, die eine „Gesamtlänge" von $j + 2$ Einzelbögen besitzen. (Details und Beweis dieser Aussage können [3] entnommen werden.) Damit folgt als

**generelle Vorschrift zur Ermittlung des Grades der Zählerpolynome von $g_{\varrho\mu}(s)$:**

Bestimme im Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$ Wege der kürzesten Länge, die vom Eingangsknoten $u_\mu$ zum Ausgangsknoten $y_\varrho$ führen. Besitzt der kürzeste Weg die Länge $l$, so hat das Zählerpolynom von $g_{\varrho\mu}(s)$ den (strukturellen) Grad $n - l + 1$. Zur Illustration wird wieder das Beispiel aus Abschn. 1. betrachtet. Im Bild 8a wurden kürzeste Wege im Strukturgraphen $G(\boldsymbol{M})$ von $u_1$ nach $y_1$, $y_2$ und $y_3$ eingetragen, im Bild 8b die kürzesten Wege von $u_2$ nach $y_1$, $y_2$ und $y_3$. Man liest aus den Bildern ab, daß der Grad der Zählerpolynome von $g_{11}(s)$, $g_{21}(s)$ bzw. $g_{31}(s)$ sich zu $6 - 2 + 1 = 5$, $6 - 4 + 1 = 3$ bzw. $6 - 4 + 1 = 3$ ergibt, während der Grad der Zählerpolynome von $g_{12}(s)$, $g_{22}(s)$ bzw. $g_{32}(s)$ gleich 5, 3 bzw. 4 wird.

## 6. Ein abschließendes großes Beispiel

Zum Schluß wenden wir uns einem größeren Beispiel aus der Kraftwerksautomatisierung zu, das [1] entnommen wurde. Es handelt sich hierbei um ein lineares, totzeitfreies Zustandsraum-Modell zur Beschreibung des dynamischen Verhaltens eines Dampferzeugers. Die Zahl der Zustandsvariablen beträgt $n = 28$, die Zahl der Eingangs- und Ausgangsgrößen stimmt überein, $r = m = 6$. Unter Beibehaltung der Variablenindizierung der Originalarbeit [1] erhält die Strukturmatrix

$$\begin{bmatrix} [\boldsymbol{A}] & [\boldsymbol{B}] \\ [\boldsymbol{C}] & \boldsymbol{0} \end{bmatrix} \qquad (6.1)$$

der Ordnung 34 das im Bild 9 skizzierte Kreuzchen-Tableau. Dieses Schema läßt auf den ersten Blick erkennen, daß von den $34 \cdot 34 = 1156$ Elementen der Matrix (6.1) verhältnismäßig viele identisch verschwinden. Diese „Schwachbesetztheit" ist typisch für große praktische Beispiele. Daraus lassen sich stets erhebliche Berechnungsvorteile ziehen. Detailliertere Informationen liefert der Strukturgraph. Aus Übersichtlichkeitsgründen wurde hier nur der Graph $G(\boldsymbol{A})$ im Bild 10 skizziert. Dieser Graph läßt erkennen, daß der strukturelle Rang

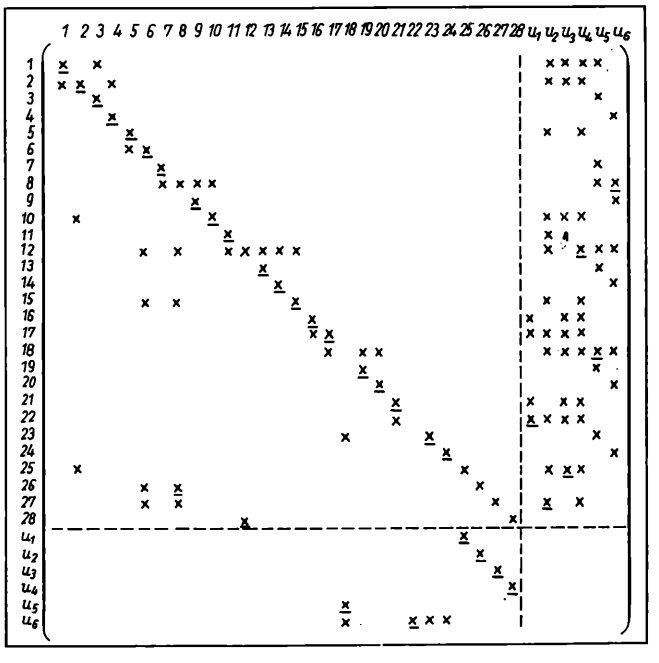
$$\mathrm{Rg}[\boldsymbol{A}] = 28 - 2 = 26 \qquad (6.2)$$

ist. Ferner überprüft man rasch, daß sämtliche 28 Zustände sowohl eingangsverbunden als auch ausgangsverbunden sind. Weiterhin gilt

$$\mathrm{Rg}[\boldsymbol{A}, \boldsymbol{B}] = 28 \text{ und } \mathrm{Rg}\begin{bmatrix} \boldsymbol{C} \\ \boldsymbol{A} \end{bmatrix} = 28 \qquad (6.3)$$

Mithin ist gesichert, daß weder strukturelle Eingangs- noch Ausgangsentkopplungsnullstellen vorliegen. Das System ist also strukturell vollständig. Man kann sogar zeigen [5], daß

**Bild 9. Strukturmatrix zum Dampferzeuger-Beispiel**



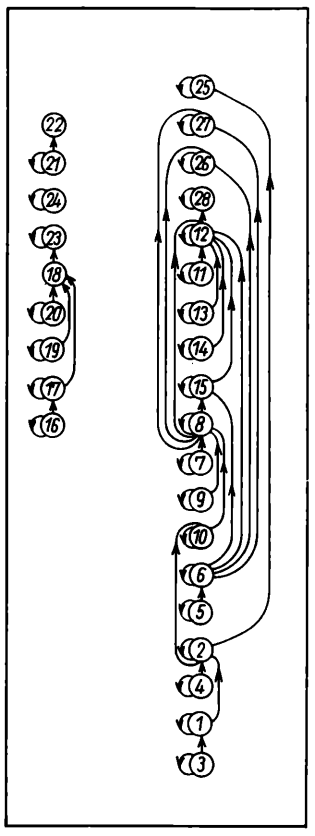


**Bild 10. Strukturgraph $G(A)$**

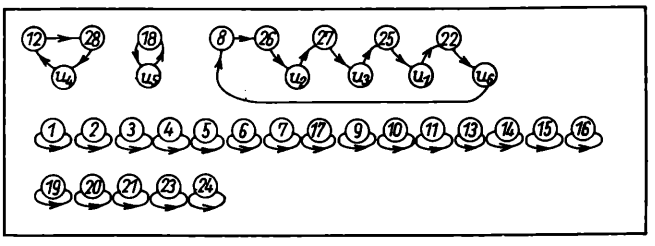


**Bild 11. Schleifenfamilie, die die strukturelle Anzahl der Übertragungsnullstellen bestimmt**

bereits $m = 2$ Eingänge und $r = 2$ Ausgänge ausreichen würden, um das System strukturell vollständig zu machen.
Wegen $r=m$ wird

$$N = \begin{bmatrix} A - sI & B \\ C & 0 \end{bmatrix}.$$

Die Faktoren eines Terms der Determinante det $N$, der die maximal mögliche Anzahl von Selbstschleifen enthält, wurden im Bild 9 durch Unterstreichung der entsprechenden Kreuze hervorgehoben Die zugehörende Schleifenfamilie zeigt das Bild 11. Daraus ist abzulesen, daß das System über 20 strukturelle Übertragungsnullstellen verfügt.
Der im Bild 10 gezeigte Strukturgraph $G(A)$ läßt unmittelbar erkennen, daß innerhalb der 28 Zustandsknoten keine Äquivalenzklassen mit mehr als 1 Element existieren. Folglich zerfällt das Eigenwertproblem der Ordnung 28 in 28 separate Eigenwertprobleme der Ordnung 1. Die Pole des Systems können also ohne jede Rechnung sofort aus den Diagonalelementen von $A$ abgelesen werden.
Dem interessierten Leser wird es nicht schwerfallen, auch den Strukturgraphen $G(M)$ zu zeichnen und daraus die kürzesten Wege zwischen den Eingangsknoten (EK) und den Ausgangsknoten (AK) abzulesen. Die kürzesten Wege haben die im nebenstehenden Schema eingetragenen Längen $l$:

Dabei bedeutet das Symbol „$\infty$" im Koordinaten-Schnittpunkt $(y_\varrho; u_\mu)$, daß kein Weg vom Eingangsknoten $u_\mu$ zum Ausgangsknoten $y_\varrho$ führt.

| AK | EK | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $u_1$ | $u_2$ | $u_3$ | $u_4$ | $u_5$ | $u_6$ |
| $y_1$ | $\infty$ | 2 | 2 | 2 | 4 | 4 |
| $y_2$ | $\infty$ | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| $y_3$ | $\infty$ | 2 | 4 | 2 | 3 | 3 |
| $y_4$ | $\infty$ | 3 | 5 | 3 | 3 | 4 |
| $y_5$ | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| $y_6$ | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |

Das Zählerpolynom des Elements $g_{\varrho\mu}(s)$ der Übertragungsfunktionsmatrix $G(s)$ verschwindet dann. Die Zählerpolynom-Grade der übrigen Elemente von $G(s)$ ergeben sich gemäß der Vorschrift aus Abschn. 5. zu $n - l + 1 = 29 - l$.
Das vorliegende Beispiel sollte den Eindruck vermitteln, daß die strukturelle Analyse auch größerer Regelungssysteme oft in relativ kurzer Zeit allein mit Papier und Bleistift erfolgen kann. Dennoch ist es zweckmäßig, auch die strukturelle Analyse rechnergestützt durchzuführen, vor allem in Kombination mit der anschließenden numerischen Analyse und mit Entwurfsverfahren. Ein Grundstock von Algorithmen zur strukturellen Analyse mit Hilfe eines Rechners soll in einer späteren Arbeit vorgestellt werden.

## Literatur


[1] *Dettinger, R.*: Entwurf einer optimalen Regelung für komplizierte Mehrgrößensysteme und Erprobung am Beispiel eines Dampferzeugers. Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 8, Nr. 25. Düsseldorf: VDI-Verlag 1976.
[2] *Franksen, O. I.; Falster, P.; Evans, F. J.*: Qualitative aspects of large scale systems. New York: Springer Verlag 1979.
[3] *Lunze, J.; Reinschke, K.*: Analyse unvollständig bekannter Regelungssysteme. Teile I u. II. ZKI-Information 2/81 und 3/81. Berlin: Akademie der Wissenschaften der DDR 1981.
[4] *MacFarlane, A. G. J.; Karcanias, N.*: Poles and zeros of linear multivariable systems. A survey of the algebraic, geometric and complex-variable theory. Int. J. Control **24** (1976), S. 33–74.
[5] *Reinschke, K.*: Structurally complete systems with minimal input and output vectors. Large Scale Systems **2** (1981), S. 235–242.
[6] *Reinschke, K.; Röder, H.-W.; Rösel, G.-S.*: Strukturelle Steuerbarkeit bei nichtlinearen, zeitvariablen Systemen und ihre Anwendung in der Kraftwerksautomatisierung. Vortrag auf dem 27. Int. Wiss. Kolloquium der TH Ilmenau, Okt. 1982.
[7] *Reinschke, K.; Schwarz, P.*: Verfahren zur rechnergestützten Analyse linearer Netzwerke. Berlin: Akademie-Verlag 1976.
[8] *Rosenbrock, H. H.*: Computer-aided control system design. London: Academic Press 1974.
[9] *Schizas, C.; Evans, F. J.*: A graph theoretic approach to multivariable-control system design. Automatica **17** (1981), pp. 371–377.
[10] *Söte, W.*: Eine grafische Methode zur Ermittlung der Nullstellen in Mehrgrößensystemen. Regelungstechnik **28** (1980), S. 346–348.
[11] *Reinschke, K.*: Zur strukturellen Steuerbarkeit dynamischer Systeme. EIK **16** (1980), S. 253–280.


msr 7697


Noch lieferbar im Fachbuchhandel

**Signale und Systeme**

Band 3 Regellose Vorgänge

Einführung in die Informationstheorie, Stochastik und Korrelationstechnik

Von Prof. Dr. sc. techn. F. H. Lange. 2., durchgesehene Auflage. 392 Seiten, 117 Bilder, Leinen, 25,— M. Bestellangaben: 5517353/Lange, Signale 3

**VEB VERLAG TECHNIK BERLIN**

Dr. -Ing. *G. Stein*, Leipzig[1])

# Entwurf parameterunempfindlicher Regler auf der Basis eines modifizierten Gleitzustandes in Systemen mit veränderlicher Struktur

IA 2.2.2.; 2.4.0.3.

## 0. Einleitung

Wegen der erreichbaren ökonomischen Effekte gewinnt die optimale automatische Führung von Umsteuerungsvorgängen sowie An- und Abfahrprozessen ständig an Bedeutung. Konventionelle Regelalgorithmen erweisen sich hierfür wenig geeignet, weil meist weitaus geringere Überschwingweiten angestrebt werden müssen und weil fest eingestellte Regler wegen der Streckenparameterveränderungen bzw. -nichtlinearitäten beim Überstreichen großer Bereiche der technologischen Größen nicht für alle Arbeitszustände optimal arbeiten. Zur Vermeidung dieser Schwierigkeiten werden in letzter Zeit „klassische" Konzepte der Strukturumschaltungen zunehmend auf moderne gerätetechnische Möglichkeiten zugeschnitten, z. B. Verhinderung des sog. *integral wind up* durch Abschaltung des I-Anteils beim Erreichen der Stellgliedanschläge [1] oder Benutzung von PBM-Stellsignalen [2].

Besonders günstige Eigenschaften, nämlich vollständige Parameterunempfindlichkeit und bei Systemen 2. Ordnung mit Sicherheit überschwingfreie Vorgänge, ergeben sich bei Benutzung des Gleitzustandes. Im folgenden wird über die Konzeption eines modifizierten Gleitzustandes berichtet, der diese Vorteile weitgehend beibehält, jedoch bestimmte seiner Nachteile umgeht. Anhand von Systemen 2. Ordnung werden Grundeigenschaften dieser Arbeitsweise diskutiert, um sie als Basis eines Entwurfsalgorithmus zu benutzen, und es wird ein Ausblick auf weitere Arbeiten gegeben.

## 1. Entstehung des Gleitzustandes

Nachdem in [3] auf das Entstehen eines Gleitzustandes bei Relaisregelungen aufmerksam gemacht wurde, wurden in [4] bis [7] sowie weiteren Einzelarbeiten Eigenschaften des Gleitzustandes untersucht. In Anlehnung an [4] wird seine Entstehung anhand eines Systems 2. Ordnung erläutert. Bild 1 zeigt den Signalflußplan des Systems. Mit einem Block zur Strukturumschaltung BU wird zwischen zwei Reglern umgeschaltet (der Zeitschalter ZS ist zunächst noch nicht vorhanden). Regler I wird so gewählt (Gegenkopplung), daß oszillatorisch stabiles Verhalten mit einem Phasenporträt gemäß Bild 2 entsteht und Regler II so (Mitkopplung), daß sich als Phasenporträt ein Sattelpunkt gemäß Bild 3 ergibt (monotone Instabilität mit entarteter stabiler Bewegung entlang $T^*$). Der Gleitzustand entsteht durch Umschaltung an der $\dot{x}$-Achse und der Gerade $G$, die zwischen $x$-Achse und entarteter stabiler Trajektorie $T^*$ der Struktur II liegt.

Bild 4 zeigt das Phasenporträt des Gleitzustandes. Den weiteren Betrachtungen wird folgendes System zugrunde gelegt:

Strecke:

$$G_S(p) = \frac{K_{IS}}{p(1 + pT_1)} \tag{1}$$

Regler:

$$G_R(p) = K_R = \begin{cases} -K_1 & \text{für } sx \geqq 0 \text{ (Struktur I)} \\ +K_2 & \text{für } sx < 0 \text{ (Struktur II)} \end{cases} \tag{2}$$

mit

$$s = \dot{x} + mx;\ (K_1, K_2, m > 0)\,. \tag{3}$$

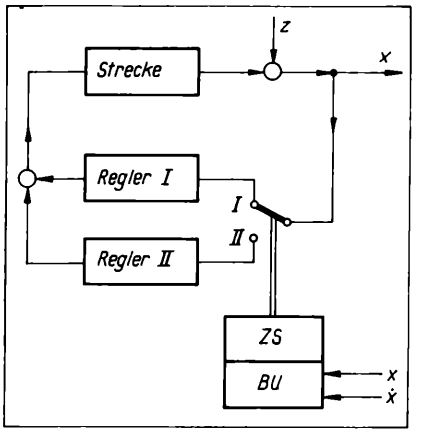



**Bild 1. Wirkungsschema des Regelsystems mit veränderlicher Struktur**
BU Block zur Umschaltung der Struktur; ZS Zeitschalter

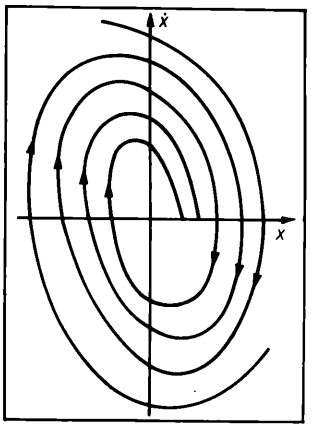



**Bild 2. Trajektorien der Struktur I (oszillatorisch stabil)**

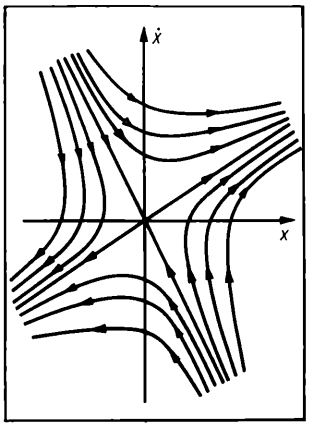



**Bild 3. Trajektorien der Struktur II (monoton instabil mit entarteter stabiler Bewegung entlang $T^*$**

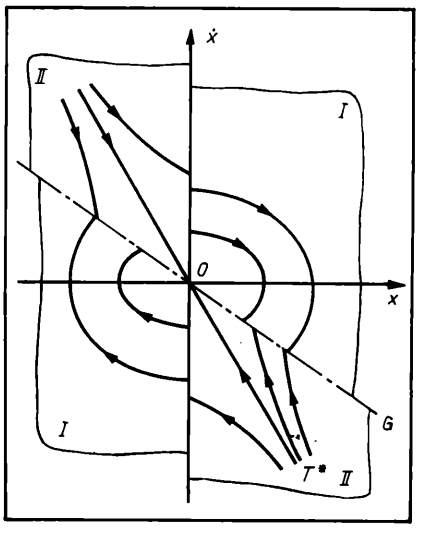



**Bild 4. Trajektorien der Bewegung im Gleitzustand**

Der Eigenvorgang wird durch die charakteristische Gleichung

$$p^2 + \frac{1}{T_1}p - \frac{K_0}{T_1} = 0 \tag{4}$$

mit $K_0 = K_{IS}K_R$

beschrieben. Für Anfangsbedingungen $(x(0);\ \dot{x}(0)) = (1;0)$ ist er identisch mit der Antwort auf einen unverzögert auf $x$

[1]) Mitteilung aus der TH Leipzig, Sektion Automatisierungsanlagen.

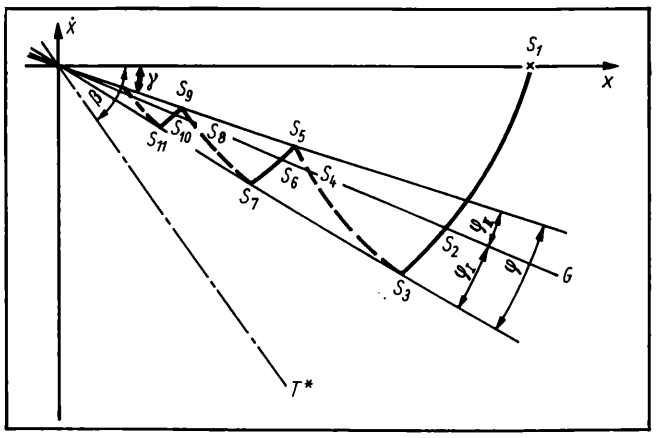



**Bild 5. Trajektorie der Bewegung im modifizierten Gleitzustand**
——— Struktur I, — — — Struktur II

wirkenden Einheits-Störsprung (Ausgangsstörung) und bis auf eine additive Konstante ebenfalls identisch mit der Führungsübergangsfunktion.
Die Nullstellen von Gl. (4) lauten:

Struktur I:

$$p_{1,2} = -\alpha \pm j\omega \tag{5}$$

$$= -\frac{1}{2T_1}(1 \pm j\sqrt{4K_0T_1 - 1}), \tag{6}$$

Struktur II:

$$p_{3,4} = -\frac{1}{2T_1}(1 \pm \sqrt{4K_{02}T_1 + 1}). \tag{7}$$

Die negative Wurzel wird mit $p_4$ bezeichnet, sie beschreibt den Anstieg der entarteten Trajektorie $T^*$ der Struktur II;

$$\beta = \arctan p_4. \tag{8}$$

Die Bedingungen für die Existenz des Gleitzustandes [6]

$$\lim_{s \to +0} \dot{s} < 0 \quad \text{und} \quad \lim_{s \to -0} \dot{s} > 0 \tag{9}$$

sind bei stabiler Struktur I ($\alpha > 0$) und Lage der Schaltgerade $G$ im spitzen Winkel zwischen $T^*$ und $x$-Achse, also für

$$0 < m = \tan(-\gamma) < -p_4 \tag{10}$$

erfüllt.
Die wesentlichen Vorteile dieser Arbeitsweise sind:

Eigenschaft 1: Die Schaltgerade (Gleitgerade) $G$ wird zur Trajektorie der Systembewegung, der Übergangsvorgang ist eine Exponentialfunktion (überschwingfreier Vorgang).

Eigenschaft 2: Die Zeitkonstante des Übergangsvorganges beträgt

$$T_G = \frac{1}{m} \tag{11}$$

und ist, sofern die Existenzbedingungen des Gleitzustandes erfüllt sind, unabhängig von den Streckenparametern.

Diese beiden Eigenschaften lassen die Anwendung des Gleitzustandes gerade für Übergangsvorgänge unter den oben geschilderten Bedingungen wünschenswert erscheinen. Ihnen stehen zwei wesentliche Nachteile gegenüber:

Eigenschaft 3: Die Umschaltung erfolgt mit unendlich hoher Frequenz.

Eigenschaft 4: Das Umschaltgesetz gemäß Gl. (3) enthält die Ableitung der Regelgröße, bei Systemen $n$-ter Ordnung alle Ableitungen bis zur $(n-1)$-ten.

## 2. Entstehung des modifizierten Gleitzustandes

Der durch Eigenschaft 3 beschriebene Nachteil des Gleitzustandes ist der Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen: Mit technisch realisierbaren Stellgliedern ist die benötigte hohe Umschaltfrequenz nicht erreichbar. Würde man die Verzögerungen des Stellsystems zur Strecke hinzurechnen, bringt dies nur formalen Erfolg, da z. B. ein pneumatischer Stellmotor durch Ansteuerung mit hochfrequenten Signalen eine unkontrollierte Flatterbewegung bei hohem mechanischem Verschleiß ausführen würde. Diesem Nachteil wird durch Einfügen des Zeitschalters ZS zwischen Block zur Umschaltung der Struktur BU und das die Strukturumschaltung ausführende Organ begegnet (im Bild 1 bereits eingezeichnet), der die folgenden Schaltverzögerungen realisiert:

$t_{01}$ — von $G$ bis zur Umschaltung I → II

$t_{02}$ — von $G$ bis zur Umschaltung II → I.

Beim Überschreiten der $\dot{x}$-Achse wird keine Schaltverzögerung wirksam. Damit entsteht der modifizierte Gleitzustand, dessen Trajektorie eine Zickzackbewegung beiderseits der Schaltgerade $G$ ist (Bild 5). Seine wesentlichen Eigenschaften sind:

Eigenschaft 5: Die Schaltfrequenz ist endlich. Die Periodendauer ist wesentlich größer als $t_{01} + t_{02}$.

Eigenschaft 6: Sofern $t_{01}$ so klein gewählt wird, daß die Trajektorie $T^*$ nicht überschritten wird, sind die Übergangsvorgänge überschwingfrei.

Eigenschaft 7: Sofern $t_{02}$ so klein gewählt wird, daß die $x$-Achse nicht überschritten wird, entstehen monotone Übergangsvorgänge.

Eigenschaft 8: Eine ungenaue Ermittlung der Ableitung der Regelgröße hat keine qualitativen Änderungen der Systemeigenschaften zur Folge.

Eigenschaft 9: Die vollständige Parameterunempfindlichkeit des idealen Gleitzustandes geht verloren.

Die Eigenschaften 5 und 6 werden als wesentlich betrachtet, um dieses Konzept des modifizierten Gleitzustandes für Regelungen mit trägen Stellgliedern für Stoffströme einer breiteren Anwendung zuzuführen. Im folgenden werden Ergebnisse der Berechnungen eines Systems 2. Ordnung vorgestellt, aus denen ein Entwurfsablauf abgeleitet werden konnte. Es wird die Frage untersucht, wie stark die Parameterempfindlichkeit des modifizierten Gleitzustandes ist, und es werden einige Überlegungen zur Stabilität angestellt.
Erwähnt werden soll noch, daß es empfehlenswert ist, in der Nähe des stationären Endzustandes die Strukturumschaltung außer Betrieb zu setzen und für die sog. „Geradeausfahrt" des technologischen Prozesses unter dem Einfluß von stochastischen Störungen nur Struktur I (ggf. auch eine dritte Struktur) zu benutzen. Eine Beschreibung des dazu notwendigen vollständigen Schaltgesetzes und der Eigenentwicklung eines Schaltgerätes erfolgte in [8].

## 3. Eigenschaften der Trajektorien eines Systems 2. Ordnung — Parameterempfindlichkeit

Für ein System nach den Gln. (1) bis (8) lassen sich die Trajektorien und die Zeitverläufe stückweise geschlossen berechnen. Dabei läßt sich zunächst folgende, schon in [4] erwähnte Eigenschaft nachweisen:

Eigenschaft 10: Die Trajektorie der Bewegung eines Regelsystems 2. Ordnung bei Arbeitsweise im modifizierten Gleitzustand liegt innerhalb eines von zwei Ursprungsgeraden begrenzten Sektors.

Die beiden Anteile des Sektoröffnungswinkels sind

$$\varphi_I = \arctan(-m) - \arctan\left[\frac{-m\cos\omega t_{01} - \left[\omega + \alpha\left(\frac{\alpha - m}{\omega}\right)\right]\sin\omega t_{01}}{\cos\omega t_{01} + \left(\frac{\alpha - m}{\omega}\right)\sin\omega t_{01}}\right] \tag{12}$$

und

$$\varphi_{II} = \arctan m + \arctan\left[\frac{-p_3(p_4 + m)\,e^{p_3 t_{02}} + p_4(p_3 + m)\,e^{p_4 t_{02}}}{-(p_4 + m)\,e^{p_3 t_{02}} + (p_3 + m)\,e^{p_4 t_{02}}}\right], \tag{13}$$

wobei die Gleichungen so geschrieben wurden, daß bei Beachtung aller oben angeführten Vorzeichen $\varphi_I$, $\varphi_{II} > 0$ für $t_{01}$, $t_{02} > 0$ werden.

Berechnung von Beispielen und anschauliche Überlegungen zu den Trajektorienbildern ergaben, daß diese Größen nicht als Gütemaß herangezogen werden können, weil die Übergangszeitkonstante von der Lage der Schaltgerade $G$ wesentlich beeinflußt wird. Aus Eigenschaften 6 und 7 ergibt sich jedoch, daß diese Beziehungen zur Dimensionierung benutzt werden müssen, um überschwingfreie Vorgänge zu erhalten. Dazu lassen sich die Gln. (12) und (13) nach $t_{01}$ bzw. $t_{02}$ auflösen:

$$t_{01} = \begin{cases} \frac{1}{\omega}\arctan A & \text{falls} \quad A \geqq 0 \\ \frac{1}{\omega}(\pi + \arctan A) & \text{falls} \quad A < 0 \end{cases} \tag{14a}$$

mit

$$A = \frac{-m - \tan\{\arctan(-m) - \varphi_I\}}{\omega + \alpha\left(\frac{\alpha - m}{\omega}\right) + \left(\frac{\alpha - m}{\omega}\right)\tan\{\arctan(-m) - \varphi_I\}} \tag{14b}$$

$$t_{02} = \frac{1}{p_3 - p_4}\ln\left[\frac{(p_3 + m)(-p_4 + \tan\{\varphi_{II} - \arctan m\})}{(p_4 + m)(-p_3 + \tan\{\varphi_{II} - \arctan m\})}\right] \tag{15a}$$

$$\text{für } \tan\{\varphi_{II} - \arctan m\} < p_3 . \tag{15b}$$

Wesentliche Aufgabe ist die Klärung der Parameterempfindlichkeit, und zwar

- sowohl hinsichtlich der für den Entwurf benötigten Sektoröffnungswinkel
- als auch hinsichtlich der Eigenschaften der Zeitverläufe.

Dazu wird von einem Streckenmodell gemäß Gl. (1) ausgegangen, und es werden Variationsbereiche der Kennwerte vorgegeben:

$$K_{IS} \in [K_{IS\,min}, K_{IS\,max}] \tag{16}$$

$$T_1 \in [T_{1\,min}, T_{1\,max}] . \tag{17}$$

Bezüglich der Lage des Sektors, in dem die Trajektorie verläuft, und seines Öffnungswinkels ergeben sich folgende für den Entwurf wichtige Aussagen:

- Flachste Lage von $T^*$ ergibt sich für $\{K_{IS\,min}, T_{1\,max}\}$
- $\varphi_I$ und $\varphi_{II}$ sind am größten bei $\{K_{IS\,max}, T_{1\,min}\}$ .

Die Berechnung einiger Übergangsvorgänge ergab, daß bei vernünftiger Wahl von $t_{01}$ und $t_{02}$ sogar schnellere Vorgänge als im idealen Gleitzustand entstehen.

## 4. Vorschlag eines Entwurfsablaufes

Mit der Zielstellung, durch große Werte von $t_{01}$ und $t_{02}$ geringe Umschaltfrequenz zu erreichen, müssen die Eigenschaften 6 und 7 in Verbindung mit der festgestellten Parameterempfindlichkeit von $\varphi_I$ und $\varphi_{II}$ die Basis für den Entwurf bilden. Dazu wird folgender Vorschlag gemacht:

*1. Voraussetzungen, Vorleistungen*

1.1. Es liegt ein System gemäß Gln. (1) bis (3) vor. Die Variationsbereiche der Streckenparameter sind bekannt ($K_{IS\,min}$ ... $K_{IS\,max}$, $T_{1\,min}$ ... $T_{1\,max}$) .

1.2. Die Eigenschaften des Übergangsvorganges werden durch die gewünschte Größe der Zeitkonstante des Übergangsvorganges $T_ü$ beschrieben.

1.3. Es wird davon ausgegangen, daß in einer Unempfindlichkeitszone in der Nähe des Ursprunges („Geradeausfahrt") Struktur I eingeschaltet wird, die dazu vorgegebene Eigenschaften haben soll (mindestens Stabilität).

1.4. Es existieren Anhaltspunkte für die Wahl der Schaltverzögerung $t_{01}$ (z. B. Zeitkonstante des Stellsystems $T_{St}$).

*2. Entwurfsablauf*

2.1. Festlegung der Steigung von $G$ so, daß für die Zeitkonstante des idealen Gleitzustandes gilt

$$T_G = \frac{1}{m} \approx (1{,}5 \ldots 2)\,T_ü .$$

2.2. Festlegung von $K_1$ so, daß Struktur I die gewünschten Eigenschaften hat.

2.3. Festlegung von $t_{01}$ so, daß das Stellsystem genügend langsam betätigt wird, z. B. $t_{01} \approx (5 \ldots 10)\,T_{St}$. Der maximal mögliche Wert von $t_{01}$ beträgt

$$t_{01\,max} = \begin{cases} \frac{1}{\omega}\arctan\left(\frac{\omega}{m - \alpha}\right) & \text{für} \quad \alpha < m \\ \frac{1}{\omega}\left[\pi + \arctan\left(\frac{\omega}{m - \alpha}\right)\right] & \text{für} \quad \alpha > m \end{cases}$$

und zwar für $\{K_{IS\,max}, T_{1\,min}\}$.

2.4. Berechnung von $K_2$ aus den für $\{K_{IS\,min}, T_{1\,max}\}$ und $\{K_{IS\,max}, T_{1\,min}\}$ nötigen Steigungen von $T^*$; Benutzung des größeren der beiden Werte.

2.5. Wahl von $t_{02}$ so, daß gutes Systemverhalten entsteht. Insbesondere gelten folgende Empfehlungen:
- $t_{02}$ möglichst groß, um niedrige Schaltfrequenz zu erreichen
- $t_{02}$ höchstens so groß, daß für $\{K_{IS\,max}, T_{1\,min}\}$ die Trajektorie von Struktur II die $x$-Achse nicht überschreitet
- schnellstmögliche Übergangsvorgänge ergeben sich für $t_{02} = 0$ .

Dieser Entwurfsablauf stellt eine Abarbeitung der Grenzen der Variationsbereiche in technisch sinnvoller Reihenfolge dar.

## 5. Parameterempfindlichkeit der Zeitverläufe

Zur Erläuterung des vorgeschlagenen Entwurfsablaufes und der Parameterempfindlichkeit der Zeitverläufe wird ein System nach Gln. (1) bis (3) betrachtet, mit:

$$K_{IS} = 0{,}1\ \text{s}^{-1} \ldots 1\ \text{s}^{-1} \text{ und } T_1 = 1\ \text{s} \ldots 10\ \text{s}.$$

Als weitere Vorgaben für den Entwurfsablauf dienen:

- $m = 0{,}1763$, d. h. $\gamma = -10°$, $T_G = 5{,}67$ s;
- die Schwingungsdauer in Struktur I soll in der Mitte des Bereichs der Streckenparameter 10 s betragen, woraus $K_1 = 4$ folgt;
- $t_{01} = 0{,}3$ s wird willkürlich gewählt.
  Dies ist kleiner als der sich für $\{K_{IS\,max}, T_{1\,min}\}$ ergebende Wert von $t_{01\,max} = 0{,}89$ s.

Die weitere Dimensionierung erfolgt gemäß 2.4. und 2.5. des o. a. Entwurfsablaufes:

- Für $\{K_{IS\,min}, T_{1\,max}\}$ beträgt $\varphi_I = 0{,}9°$; daraus folgt $K_2 = 1{,}79$. Für $\{K_{IS\,max}, T_{1\,min}\}$ beträgt $\varphi_I = 43{,}5°$; daraus folgt $K_2 = 0{,}47$.

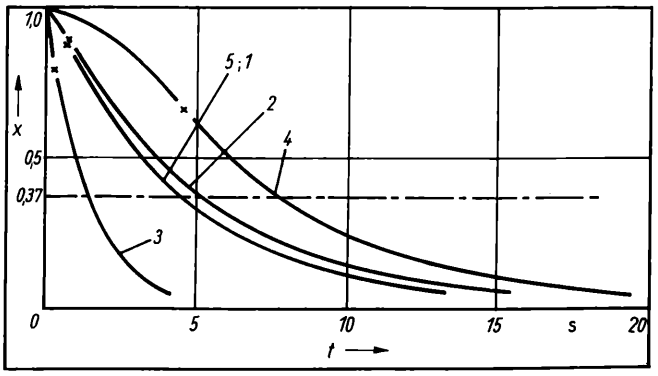



**Bild 6. Zeitverläufe der Regelgröße im modifizierten Gleitzustand**
$\gamma = -10°$; $t_{01} = 0{,}3$ s; $t_{02} = 0{,}05$ s; $K_1 = 4$; $K_2 = 2{,}5$

| Kurve Nr. | $K_{IS}$ (in $s^{-1}$) | $T_1$ (in s) | Periodendauer des modifizierten GZ (in s) | $t_{37\%}$ (in s) | $t_{2\%}$ (in s) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,5 | 5 | 0,90 | 4,5 | 17,0 |
| 2 | 0,1 | 1 | 0,60 | 5,2 | 19,5 |
| 3 | 1,0 | 1 | 0,85 | 1,3 | 5,4 |
| 4 | 0,1 | 10 | 2,18 | 7,7 | 23,9 |
| 5 | 1,0 | 10 | 1,05 | 4,5 | 16,6 |
| Variationsbereich | 1:100 | | | 1:5,9 | 1:4,4 |

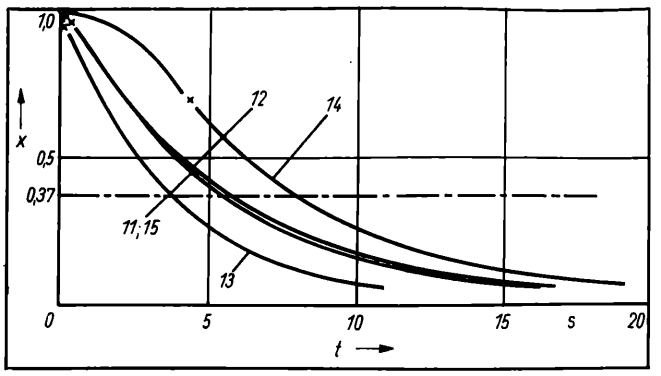



**Bild 7. Zeitverläufe der Regelgröße im modifizierten Gleitzustand**
$\gamma = -10°$; $t_{01} = 0{,}06$ s; $t_{02} = 0{,}01$ s; $K_1 = 4$; $K_2 = 2{,}5$

| Kurve Nr. | $K_{IS}$ (in $s^{-1}$) | $T_1$ (in s) | Periodendauer des modifizierten GZ (in s) | $t_{37\%}$ (in s) | $t_{2\%}$ (in s) |
|---|---|---|---|---|---|
| 11 | 0,5 | 5 | 0,17 | 5,5 | 21,0 |
| 12 | 0,1 | 1 | 0,12 | 5,7 | 21,5 |
| 13 | 1,0 | 1 | 0,16 | 3,6 | 14,1 |
| 14 | 0,1 | 10 | 0,36 | 7,9 | 24,2 |
| 15 | 1,0 | 10 | 0,18 | 5,4 | 20,9 |
| Variationsbereich | 1:100 | | | 1:2,2 | 1:1,7 |

Es ist der größere Wert zu benutzen. Mit etwas Reserve wird gewählt: $K_2 = 2{,}5$.

— Für $\varphi_{II}$ stehen maximal 10° zur Verfügung. Daraus folgt bei $\{K_{IS\,max}, T_{1\,min}\}$ $t_{02} = 0{,}068$ s. Mit etwas Reserve wird $t_{02} = 0{,}05$ s gewählt.

Bild 6 zeigt die sich ergebenden Übergangsvorgänge. Sie sind erwartungsgemäß überschwingfrei. Zur Einschätzung der Güte werden die Ausregelzeit auf 2% des Anfangswertes ($t_{2\%}$) und die 37%-Zeit benutzt. Letztere wird als Quasizeitkonstante bezeichnet; in Anlehnung an die Tatsache, daß im idealen Gleitzustand der Übergangsprozeß eine e-Funktion mit der Zeitkonstante $t_{37\%}$ ist.

Aus Bild 6 geht hervor, daß die Parameterempfindlichkeit sehr gering ist. Dabei muß beachtet werden, daß die Übergangsvorgänge und die Angaben von $t_{37\%}$ und $t_{2\%}$ den Verlauf in Struktur I bis zum ersten Schaltpunkt ($S_3$ im Bild 5) enthalten, währenddessen die volle Parameterempfindlichkeit der Struktur I wirksam wird. Zur Abschätzung dieses Einflusses ist auf den Kurven im Bild 6 dieser erste Schaltpunkt markiert. Die Periodendauer der Strukturumschaltung erweist sich als so gering, daß probeweise das gleiche Beispiel mit um Faktor 5 verringerten Schaltverzögerungen $t_{01}$ und $t_{02}$ durchgerechnet wurde. Das Ergebnis ist im Bild 7 dargestellt. Bei immer noch genügend geringer Umschaltfrequenz ist praktisch keine Parameterempfindlichkeit feststellbar, vor allem wenn man bedenkt, daß die Zahlenangaben für $t_{37\%}$ und $t_{2\%}$ wiederum den Anfangsverlauf in Struktur I beinhalten (insbesondere bei Kurve 14 bedeutsam).

In Auswertung dieses Beispiels läßt sich feststellen, daß für Systeme 2. Ordnung die oben angegebene Zielstellung erreicht wurde: Der modifizierte Gleitzustand ergibt mit einem sehr einfachen Regelalgorithmus bei technisch sinnvoll geringer Frequenz der Strukturumschaltung nahezu völlig parameterunempfindliche Verläufe.

## 6. Stabilität des modifizierten Gleitzustandes bei Systemen 2. Ordnung

Im folgenden soll untersucht werden, ob fehlerhafte Bemessung der Schaltverzögerungen $t_{01}$ und $t_{02}$ zur Ausbildung von Grenzzyklen führen kann.

Zunächst wird der Fall unzulässiger Vergrößerung von $t_{01}$ betrachtet. Zur Erläuterung dient Bild 8. Es werden folgende Bezeichnungen verwendet: $t_{01} = t_{01}^{*}$, wenn Schaltpunkt 3 auf $T^*$ liegt; $t_{01} = t_{01}^{**}$, wenn Schaltpunkt 3 auf der $\dot{x}$-Achse liegt.

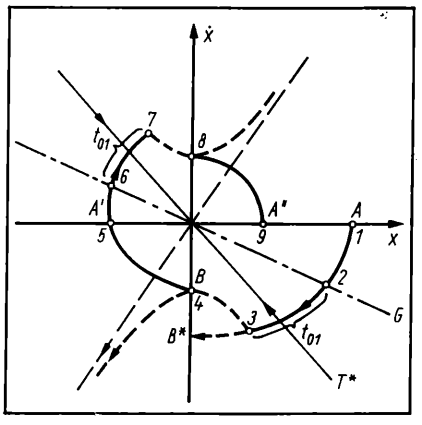



**Bild 8. Trajektorie bei unzulässiger Vergrößerung von $t_{01}$**
——— Struktur I;
– – – Struktur II

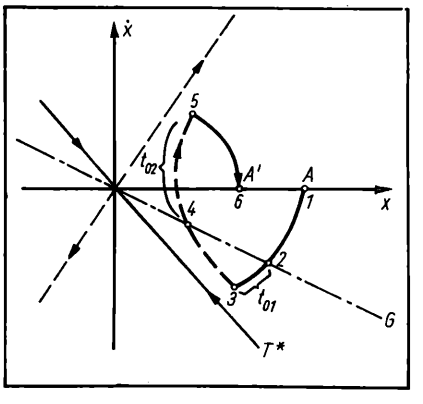



**Bild 9. Trajektorie bei unzulässiger Vergrößerung von $t_{02}$**
——— Struktur I;
– – – Struktur II

Aus Bild 8 ergibt sich, daß nur der Bereich $t_{01}^{*} < t_{01} < t_{01}^{**}$ von Interesse ist. Für $t_{01} < t_{01}^{*}$ ergibt sich der modifizierte Gleitzustand in gewünschter Weise, für $t_{01} = t_{01}^{*}$ sogar der schnellstmögliche Übergangsvorgang entlang $T^*$ ohne weitere Strukturumschaltung. Für $t_{01} \geqq t_{01}^{**}$ bleibt wegen der unverzögerten Umschaltung an der $\dot{x}$-Achse ständig Struktur I eingeschaltet. Die Trajektorie eines Vorganges mit $t_{01}^{*} < t_{01} < t_{01}^{**}$ ist im Bild 8 dargestellt. Aus einfacher geometrischer Überlegung folgt, daß der Schnittpunkt B dieser Trajektorie mit der $\dot{x}$-Achse stets

zwischen dem Koordinatenursprung und dem Schnittpunkt $B^*$ der Trajektorie der Struktur I mit der $\dot{x}$-Achse liegt. Also ergibt sich durch die Strukturumschaltung selbst bei ungünstiger Wahl von $t_{01}$ ein Übergangsvorgang, dessen Überschwingweite nie größer werden kann als die von Struktur I. Bei voraussetzungsgemäßer Stabilität von Struktur I ist also das System mit Strukturumschaltung auch bei ungünstiger Wahl von $t_{01}$ unbegrenzt stabil.

Etwas anders liegen die Verhältnisse bei unzulässiger Vergrößerung von $t_{01}$. Bild 9 illustriert diesen Fall. Dabei wird $t_{01} < t_{01}^*$ vorausgesetzt, so daß $T^*$ nicht überschritten wird. Wie man erkennt, kann durch Vergrößerung von $t_{02}$ auf $t_{02} = t_{02}^*$ das Entstehen eines Grenzzyklus ohne Vorzeichenwechsel von $x$ erreicht werden ($\overline{0A'} = \overline{0A}$). Wird $t_{02} > t_{02}^*$ eingestellt, entstehen sogar aufklingende Schwingungen. Die Angabe einer geschlossenen Formel für $t_{02}^* = f(K_{IS}, T_1, K_1, K_2, m, t_{01})$ erwies sich als nicht möglich, jedoch kann ohne numerische Schwierigkeiten durch stückweises Berechnen der Trajektorienabschnitte beider Strukturen für eine vorgegebene Parameterkombination überprüft werden, ob Stabilität vorliegt. Dafür wurde ein Programm in DIWA für KRS 4200 geschrieben. Für die Dimensionierung des Regelsystems hat $t_{02}^*$ wenig Bedeutung, da gemäß den oben beschriebenen Überlegungen $t_{02}$ höchstens so groß gewählt werden sollte, daß die Trajektorie die $x$-Achse nicht überschreitet. Mit diesem Wert für $t_{02}$ ist sicher gewährleistet, daß kein Grenzzyklus entsteht.

## Zusammenfassung — Ausblick

Durch Betrachtung der Eigenschaften eines Systems 2. Ordnung wurde nachgewiesen, daß der modifizierte Gleitzustand in Regelsystemen mit veränderlicher Struktur einige für die Regelung von Übergangsvorgängen vorteilhafte Eigenschaften hat, insbesondere:

- einfacher Regelalgorithmus,
- überschwingfreie Übergangsvorgänge,
- endliche, niedrige Umschaltfrequenz,
- hohe Parameterunempfindlichkeit.

Es wurde ein Entwurfsablauf abgeleitet, der lediglich die Variationsbereiche der Streckenparameter sowie einige Vorgaben über gewünschte Eigenschaften des Übergangsvorganges als Eingangsinformationen benötigt. Es zeigt sich, daß lediglich eine sehr ungünstige Wahl der Verzögerungszeit $t_{02}$ zu Stabilitätsverlust führen kann. Ungünstige Wahl von $t_{01}$ läßt zwar Vorgänge mit Überschwingungen entstehen, bei denen jedoch die Überschwingweite nie größer ist als die von Struktur I.
Gegenwärtige Arbeiten sind darauf gerichtet, dieses Konzept für Systeme höherer Ordnung anzuwenden und dazu den vorgeschlagenen Entwurfsablauf durch Korrekturfaktoren o. ä. zu modifizieren, den Einfluß von Begrenzungen des Stellsignals zu untersuchen sowie unter dem Gesichtspunkt der Implementierung des Regelalgorithmus auf einem Mikrorechner den Einfluß der Tastung auf die Systemeigenschaften zu untersuchen. Dabei wird sets versucht, keine höhere als die erste Ableitung der Regelgröße im Umschaltgesetz zu verwenden.

## Literatur


[1] *Latzel, W.:* Regelung mit dem Prozeßrechner. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut 1977.
[2] *Ehrlich, H.; Schmidt, R.; Wittig, W.:* Regelungsalgorithmen und ihre Realisierung durch Mikrorechner-Regler. Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Leipzig 4 (1980) H. 5, S. 309–320.
[3] *Flügge-Lotz, I.:* Discontinuous automatic control. Princeton, New Jersey: Princeton Unversity Press 1953.
[4] *Emel'janov, S. V.:* Automatische Regelsysteme mit veränderlicher Struktur. Berlin: Akademie-Verlag 1971.
[5] *Emel'janov, S. V.:* Teorija sistem s peremennoj strukturoj (Theorie der Systeme mit veränderlicher Struktur). Moskva: Nauka 1970.
[6] *Barbašin, E. A.:* Vvedenije v teoriju ustojčivosti (Einführung in die Stabilitätstheorie). Moskva: Nauka 1967.
[7] *Utkin, V. I.:* Skol'zjaščie režimi i ich primenenie v sistemach s peremennoj strukturoj (Gleitregimes und ihre Anwendung in Systemen mit veränderlicher Struktur). Moskva: Nauka 1974.
[8] *Stein, G.; Tonn, K.:* Ein Zeitschalter zur Realisierung des modifizierten Gleitzustandes bei Regelsystemen mit veränderlicher Struktur. Wissenschaftliche Zeitschrift der TH Leipzig 4 (1980) H. 3, S. 135–140.


msr 7642


Dr. rer. nat. *P. Hummitzsch* und Dr. rer. nat. *R. König*, Dresden[1])


# Corex — eine rationelle Möglichkeit zum Entwurf verbindungsprogrammierter Steuerungen

IA 4.5.3.

## 0. Einleitung

Trotz des Vormarsches der speicherprogrammierbaren Steuerungen innerhalb der industriellen Steuerungstechnik werden verbindungsprogrammierte Steuerungen noch lange Zeit einen bedeutenden Platz einnehmen. Dem wurde in der DDR durch die Konzipierung des Kartenbaugruppensystems ursalog 4000 für verbindungsprogrammierte Steuerungen Rechnung getragen. Dieses System wird seit 1980 im VEB KEAW produziert und bis 1982 ergänzt.
Für die Realisierung des sequentiellen Teiles von binären Steuerungen waren in ursalog 4000 zunächst nur das RS-Flipflop (Kartenbaugruppe 2715) und eine Taktkettenbaugruppe (Kartenbaugruppe 2747) vorgesehen. Die eingehende praxisseitige Prüfung des Corex-Speichers, eines Forschungsergebnisses aus dem Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der Akademie der Wissenschaften der DDR, das u. a. dem Institut für Regelungstechnik Berlin und dem Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaues Karl-Marx-Stadt unterbreitet wurde, führte zur Aufnahme der Zustandsspeicherbaugruppe 2717 in das Ergänzungssortiment von ursalog 4000. Damit enthält ursalog 4000 eine Lösung, die man in anderen, auf dem Weltmarkt existierenden Bausteinsystemen nicht findet.
Es handelt sich dabei um einen problemunabhängig einsetzbaren Zustandsspeicher mit sieben Zuständen, mit dem beliebig vermaschte Zustandsgraphen realisiert werden können und dessen Verwendung die üblicherweise notwendigen Maßnahmen gegen Wettläufe und dynamisches Fehlverhalten bei Signaldurchläufen überflüssig macht. Weiterhin ist es für diesen Zustandsspeicher kennzeichnend, daß er im Vergleich zu gängigen Lösungen den Prozeß des Entwurfs einer Steuerung vereinfacht, den Verbindungs- und Bausteinaufwand für die Speicheransteuerung erheblich verringert, eine bequeme Zusammenschaltung zu größeren Systemen — auch solchen mit Parallelarbeit — ermöglicht sowie Fehler im Speicherkode selbständig meldet und blockiert. Die Baugruppe 2717 hat die System-

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Institutsteil Dresden.

parameter des Baugruppensystems ursalog 4000 und damit eine hohe Stör- und Zerstörfestigkeit sowie die Kurzschlußfestigkeit der Ausgänge. Damit stehen der Steuerungspraxis bis zu einem gewissen Grad die Möglichkeiten des Entwurfssystems Corex [1] und [2] zur Verfügung, das eine transparente Hardware-Struktur und eine rationelle Methode zur Umsetzung einer formalisierten Aufgabenstellung in die Hardware-Struktur umfaßt. Die Zustandsspeicherbaugruppe 2717 verkörpert also eine an ursalog 4000 angepaßte Variante des Corex-Speichers, der den Kern der Corex-Hardware-Struktur darstellt.

Mit dem Beitrag sollen zunächst die ökonomischen Vorteile der Anwendung des Corex-Systems vorgestellt und die Eigenschaften dargelegt werden, auf denen diese Vorteile beruhen. Ferner ist es das Ziel, einen Einblick in die Hardware-Struktur und in das damit verbundene Entwurfsvorgehen zu geben und dabei die theoretischen Hintergründe von Corex zu erläutern.

## 1. Mit Corex erreichbare Effekte

Der spezifische Anwendungsbereich des Corex-Systems erstreckt sich auf binäre asynchrone sequentielle Schaltungen, deren sequentieller Teil durch bedingungsabhängige Folgen von Steuerungszuständen gekennzeichnet ist. Sequentielle Teile der Steuerungsalgorithmen, für die bereits spezielle Realisierungsmittel, z. B. Zähler, Eingangs- oder Ausgangsregister, existieren, wird man jedoch i. allg. nicht mit dem Corex-Speicher realisieren. Der Corex-Speicher wird vielmehr als eine günstige Möglichkeit zur Realisierung der Topologie solcher Graphen angesehen, die die Menge derjenigen Tripel „Situation der Steuerung, Überführungsbedingung, Folgesituation" aus der Aufgabenstellung enthalten, über deren schaltungstechnische Umsetzung noch frei verfügt werden kann. Der Graph kann dabei beliebig vermascht — im Extremfall sogar vollständig — sein, ohne daß ein Schaltungsmehraufwand in Abhängigkeit vom Vermaschungsgrad entsteht. Im Gegensatz dazu wird z. B. bei Verwendung der Taktkettenbaugruppe 2747 des ursalog-4000-Systems mit zunehmendem Vermaschungsgrad ein zunehmender Schaltungsaufwand erforderlich. Dies resultiert daraus, daß in der genannten Baugruppe nur eine unverzweigte Zustandsfolge vorverdrahtet ist und zur Realisierung aller davon abweichenden Topologien der Rücksetzaufwand realisiert (und vorher ermittelt) werden muß. Typische Einsatzfälle des Corex-Speichers sind z. B. Folgesteuerungen für Werkzeugmaschinen. Bei Verwendung von Corex sind Einsparungen sowohl beim Entwurfsaufwand als auch beim Hardware-Aufwand zu erreichen. Der Entwurfsprozeß wird dadurch erleichtert, daß

- eine spezielle standardisierte Hardware entwickelt wurde, die den Projektanten von solchen Entwurfsproblemen herkömmlicher formalisierter Entwurfsvorgehen, wie der Kodierung, der Sicherung der Wettlauffreiheit, der Berechnung von Rücksetzfunktionen für die Speicherelemente und der Strukturfindung, befreit
- eine auf diese Corex-Hardware zugeschnittene, leicht erlernbare und leicht ausführbare Methode für den Übergang von einer formalisierten ereignisorientierten Darstellung einer Steuerungsaufgabe in eine Corex-Realisierung angegeben wurde.

Der Hardware-Aufwand von Corex-Realisierungen ist gegenüber anderen nichtminimierten verbindungsprogrammierten Lösungen dadurch verringert, daß die sonst für die Rücksetzung der Speicher und die Sicherung der Wettlauffreiheit erforderlichen Schaltungsteile eingespart bzw. stark reduziert werden (vgl. Beispiel, Bild 1).

Darüber hinaus wird durch die serienmäßige Vorfertigung des Corex-Speichers und dadurch, daß nur die Setzbedingungen zu

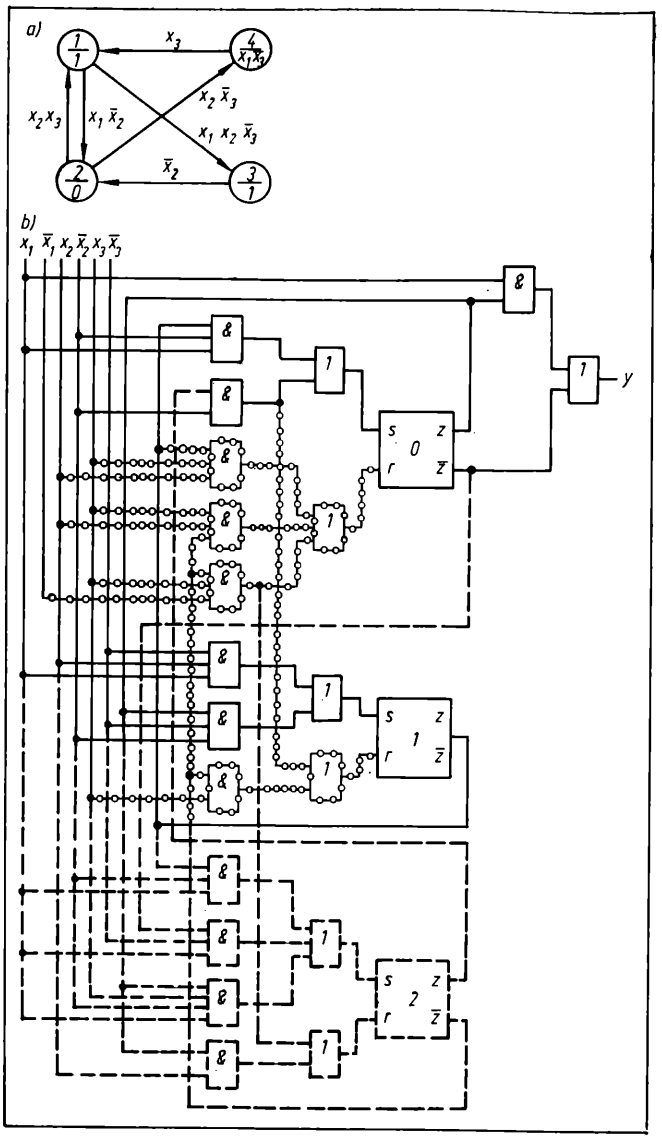



**Bild 1. Beispiel-Graph und Random-Logic-Realisierung**

a) Graph eines Steuerungsalgorithmus

b) Random-Logic-Realisierung des Graphen aus a).
Die „-o-o-o-" gezeichneten Schaltungsteile dienen zur Rücksetzung der Speicher, die Schaltungsteile zur Sicherung der Wettlauffreiheit sind durch Linien der Art „— — —" dargestellt.

realisieren sind, die industrielle Fertigung der Steuerung erleichtert. Die Verwendung des standardisierten Speichermoduls sowie seine Fehlersignalisierung verbessern die Instandhaltbarkeit der Anlage. Aus diesen Effekten resultiert insgesamt eine Gebrauchswerterhöhung.

Anhand von Vergleichsentwürfen bei den Industriepartnern und im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse der AdW konnten die zu erwartenden Einsparungen dahingehend quantifiziert werden, daß sich durch Einsatz von Corex im Mittel der Baugruppen-Aufwand um 20 bis 25% und der Verdrahtungsaufwand um 25 bis 50% verringert.

Die Möglichkeit, sich diese Vorteile nutzbar zu machen, bietet sich dem Projektanten durch Verwendung der ursalog-4000-Baugruppe 2717. Hinsichtlich Gebrauchswerteigenschaften dieser Baugruppe überlagert sich den corex-spezifischen Vorteilen die sehr hohe Störfestigkeit der Eingänge und Zerstörfestigkeit der Ausgänge als ein wesentliches Charakteristikum von ursalog 4000. Für die ökonomische Bilanz bedeutet dies, daß durch die Nutzung der Corex-Vorteile i. allg. eine Preisminderung bewirkt wird.

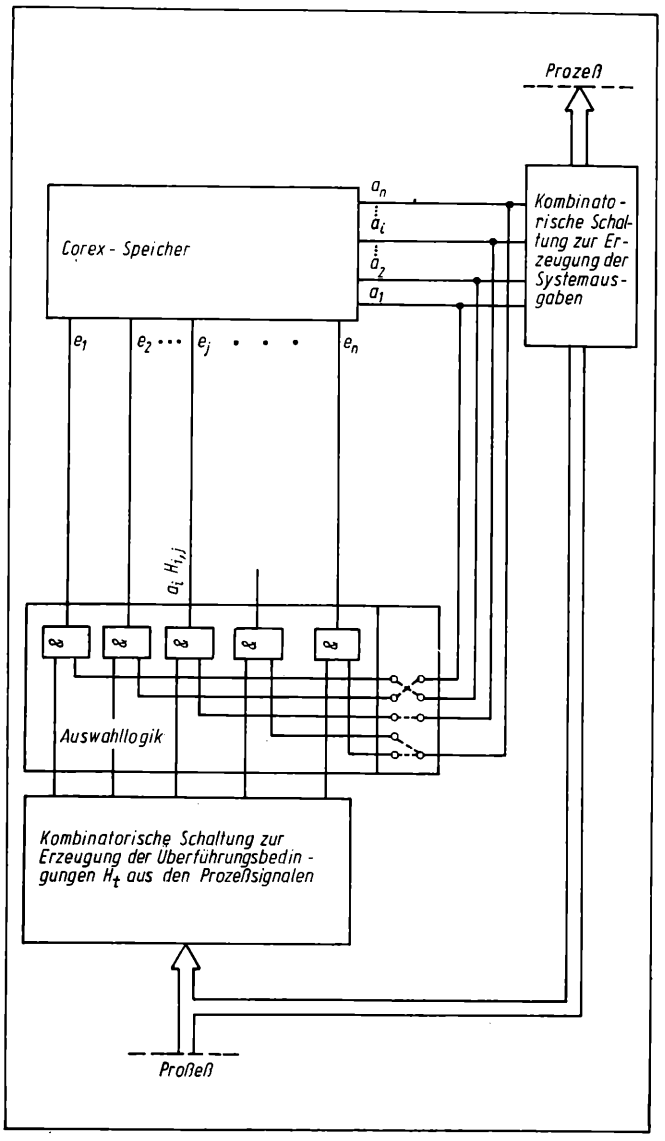



**Bild 2. Corex-Struktur**

## 2. Eigenschaften von Corex, Struktur und Verfahren

Die Corex-Hardware (Bild 2) verwendet zur Realisierung des sequentiellen Teils einer Steuerung einen problemunabhängigen Standardspeicherbaustein mit mehr als zwei Zuständen. Dieser Speicher arbeitet so, daß er mehrstellige binäre Eingangsvektoren ohne zusätzliche externe Maßnahmen übernimmt, speichert und an seinen Ausgängen reproduziert. Die Konsequenzen dieser Arbeitsweise bestehen in den in Abschn. 2. genannten vorteilhaften Eigenschaften der Corex-Hardware und des zugehörigen Entwurfsverfahrens.

Als Betriebskode für den Corex-Speicher bietet der 1-aus-$n$-Kode viele Vorteile. So sind Corex-Realisierungen im 1-aus-$n$-Kode besonders transparent und resultieren aus einem (noch zu erläuternden) direkten, strukturbewahrenden Übergang von einer formalisierten Aufgabenstellung zur Schaltung. Weiterhin ermöglicht der 1-aus-$n$-Kode in relativ einfacher Weise eine Fehlerüberwachung: Alle Abweichungen von diesem Kode (mit Ausnahme der Nullbelegung) treten im normalen Betrieb des Speichers nicht auf, so daß ihr Erscheinen als Fehlersymptom interpretiert und zur Fehlerblockierung und Fehleranzeige verwendet werden kann. Nachteilig ist demgegenüber der geringe Auslastungsgrad der Speicherelemente. Über den 1-aus-$n$-Kode hinaus sind prinzipiell auch alle anderen fehlererkennenden Kodes z. B. $k$-aus-$n$-Kodes, als Betriebskode für den Corex-Speicher möglich.

Als standardisierter Modul ist der Corex-Speicher so konstruiert, daß er eine unkomplizierte Komposition mehrerer Speicher zu einer Gesamtspeicherschaltung gestattet, wobei die komponierte Schaltung dieselben Grundeigenschaften wie ein einzelner Corex-Speicher hat. Über den Weg einer speziellen Komposition von Corex-Speichern ist auch die Realisierung von Parallelarbeit möglich.

Die ursalog-4000-Baugruppe 2717 arbeitet nach dem Master-Slave-Prinzip und verwendet den 1-aus-$n$-Kode. Der an schaltungstechnischen Details interessierte Leser sei auf [5] verwiesen.

Der Corex-Speicher-Modul dient in der Schaltungsstruktur Bild 2 zur Realisierung der Zustände. Wählt man als Verarbeitungskode des Corex-Speichers den 1-aus-$n$-Kode, so wird der Zustand $z_i$ von diesem Speicher durch ein $L$-Signal am Ausgang $a_i$ und 0-Signale an allen übrigen Ausgängen $a_j$ $(i \neq j)$ repräsentiert. Der Speicher wird dann in den Zustand $z_j$ gesetzt, indem an seinem Eingang $e_j$ L-Signal und an den übrigen Eingängen $e_k$ $(k \neq j)$ 0-Signale angelegt werden.

Die Ausgangsbelegungen des Speichermoduls finden sowohl zur Erzeugung der Systemausgaben (wobei sie eventuell mit Eingangssignalen zu verknüpfen sind) als auch zur problemabhängigen Auswahl der freizuschaltenden Fortschaltbedingungen Verwendung. Diese Auswahl erfolgt in einer Auswahllogik durch Bildung von Konjunktionen der Speicherausgänge und der Überführungsbedingungen. Die Resultate dieser Konjunktionen werden an diejenigen Eingänge des Speichers geführt, die die Einstellung desjenigen Folgezustandes bewirken, der bei Erfülltsein der jeweiligen Überführungsbedingungen einzunehmen ist.

Dementsprechend besteht das Wesen des Verfahrens darin, alle die im Steuerungsalgorithmus enthaltenen Tripel der Art „Zustand-Überführungsbedingung-Folgezustand" in die Schaltung zu übertragen. Als Ausgangspunkt dazu kann jede beliebige Graphendarstellung oder gar eine verbale, alle zu realisierenden Tripel o. g. Art enthaltene Formulierung der Aufgabenstellung dienen. Dieser Entwurfsschritt kann am Beispiel des Bildes 1a in den Bildern 4a und 4b verfolgt werden.

Zur Fehlerblockierung existiert im Corex-Speicher eine Schaltung, die durch ein Fehlersignal dazu veranlaßt wird, die Ausgänge des Speichers für die Dauer des Fehlersignals zu blockieren. Damit wird erreicht, daß bei Auftreten eines nicht interpretierbaren Betriebszustandes des Speichers dieser in einen definierten Wartezustand (Sicherheitszustand) überführt wird (weitere Einzelheiten siehe [3] bis [5]).

## 3. Theoretischer Hintergrund

Der mathematische Hintergrund der Corex-Struktur ist das Konzept der Petri-Netze. Unter einem Petri-Netz versteht man einen speziellen Graphen, in dem es Marken gibt, die nach definierten Regeln durch den Graphen fließen (z. B. [6]). Präziser formuliert ist das Petri-Netz ein System zweier zueinander disjunkter Trägermengen $\boldsymbol{S}$ und $\boldsymbol{T}$ und zweier Relationen ***Pre*** und ***Post*** zwischen den Elementen dieser Mengen:

$$\boldsymbol{PN} = (\boldsymbol{S}, \boldsymbol{T}, \boldsymbol{Pre}, \boldsymbol{Post}).$$

Die Elemente der Trägermengen $\boldsymbol{S}$ und $\boldsymbol{T}$ bilden die Knoten des Graphen, und die Relationen vermitteln die gerichteten Kanten zwischen den Knoten. Man unterscheidet sogenannte Platzknoten $s \in \boldsymbol{S}$ und Transitionsknoten $t \in \boldsymbol{T}$ sowie die Kanten von Plätzen zu Transitionen (Elemente der ***Pre***-Relation) und die von Transitionen zu Plätzen (Elemente der ***Post***-Relation). Durch eine Markierung $M$ des Netzes werden in einigen Plätzen Marken abgelegt: $M$: $\boldsymbol{S} \rightarrow \{0, 1\}$.

Enthält jeder Vorplatz einer Transition $t \in \boldsymbol{T}$ eine Marke, dann kann diese Transition „realisiert" werden. Bei der Realisierung von $t$ sind die Marken der Vorplätze zu löschen und die Nachplätze zu markieren (Bild 3). Die Plätze des Netzes sind hier

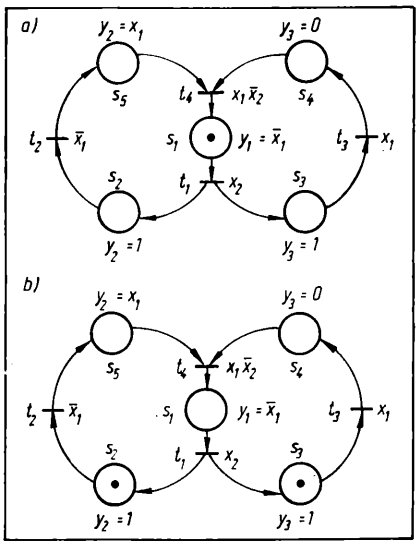



**Bild 3. Steuerungstechnisch interpretiertes Petri-Netz P**

a) $P$ vor der Realisierung von $t_1$;
b) $P$ nach der Realisierung von $t_1$

durch Kreise und die Transitionen durch senkrecht zu den Kanten stehende Striche dargestellt. Der Punkt im Platz $s_1$ symbolisiert eine Marke in $s_1$ und charakterisiert eine Markierung des Netzes. Durch diese Markierung ist die Transition $t_1$ (und nur diese!) realisierbar. Die Realisierung erfolgt bei Eintreffen der Eingangsbelegung $x_2$. Bis zu diesem Zeitpunkt wird, falls $x_1 = 1$, die Belegung $y_1 = 0$ und, falls $x_1 = 0$, die Belegung $y_1 = 1$ ausgegeben.

Durch die Realisierung von $t_1$ wurde die Marke von $s_1$ gelöscht, die Plätze $s_2$ und $s_3$ erhielten Marken. Nunmehr sind die Transitionen $t_2$ und $t_3$ realisierbar. Ihre Realisierung kann unabhängig voneinander und in einer beliebigen Reihenfolge erfolgen.

*Petri* schlug vor, die Plätze des Netzes als Bedingungen und die Transitionen des Netzes als Ereignisse eines Prozesses anzusehen (z. B. [7]). Durch diese Betrachtungsweise bekommen das mathematische Gebilde und seine „Spielregeln" einen semantischen Inhalt: Ein Ereignis kann erst dann eintreten, wenn seine Vorbedingungen erfüllt sind, das Eintreten des Ereignisses beendet seine Vorbedingungen und produziert Nachbedingungen, und das Netz beschreibt die kausalen Beziehungen zwischen den Bedingungen und Ereignissen des betrachteten Prozesses. Damit wurde das Netz interpretiert. In der Literatur bezeichnet man diese Interpretation als „Bedingung-Ereignis-Interpretation" und betrachtet sie als Basisinterpretation des Netzkonzeptes.

Die Behandlung von Steuerungsprozessen erfordert eine solche Konkretisierung der Basisinterpretation, die einerseits erklärt, welche Netzelemente den Komponenten des Prozesses entsprechen, und andererseits die Spielregeln so präzisiert, daß die darzustellenden Prozeßabläufe günstig abgebildet werden können. So hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Plätze als Zustandskomponenten und als Produzenten von Ausgabebelegungen zu interpretieren und die Transitionen durch Überführungsbedingungen (Prädikate der Eingangsvariablen) zu konkretisieren. Die Spielregel des Netzes lautet damit: Eine Überführungsbedingung kann nur dann wirksam werden, wenn alle ihr vorgelagerten Zustandskomponenten aktuell (markiert) sind; sie bewirkt das Deaktivieren der vorgelagerten Zustandskomponenten und das Aktivieren der der Überführungsbedingung nachgelagerten Zustandskomponenten. Der damit verbundene Zustandsübergang führt auch zur Produktion einer zugehörigen Ausgabebelegung.

Die Hardware-Realisierung eines so interpretierten Netzes bedeutet, eine Schaltung anzugeben, die das Netz und seine Spielregel nachzubilden gestattet. Dazu benötigt man zunächst eine Speicherschaltung zur Speicherung der aktuellen (d. h. markierten) Zustandskomponenten. Eine solche Speicherschaltung hat zweckmäßigerweise für jede zu speichernde Zustandskomponente (d. h. Platz des Netzes) je einen reservierten Eingang und Ausgang. Der Speichermodul funktioniere so, daß ein L-Signal am Eingang $e_i$ zur Aktualisierung (Speicherung) der $i$-ten Zustandskomponente führt, ein L-Signal am Ausgang $a_i$ sei die Folge dieser Aktualisierung. Die $i$-te Zustandskomponente eines steuerungstechnisch interpretierten Netzes wird aktualisiert (markiert), wenn eine der Komponente vorgelagerte Transition $t$ realisiert wird. Das ist aber vereinbarungsgemäß nur möglich, wenn deren Vorplätze markiert sind **und** die zu $t$ gehörende Überführungsbedingung erfüllt ist. Dementsprechend ist dem Eingang $e_i$ der Speicherschaltung für jede dem $i$-ten

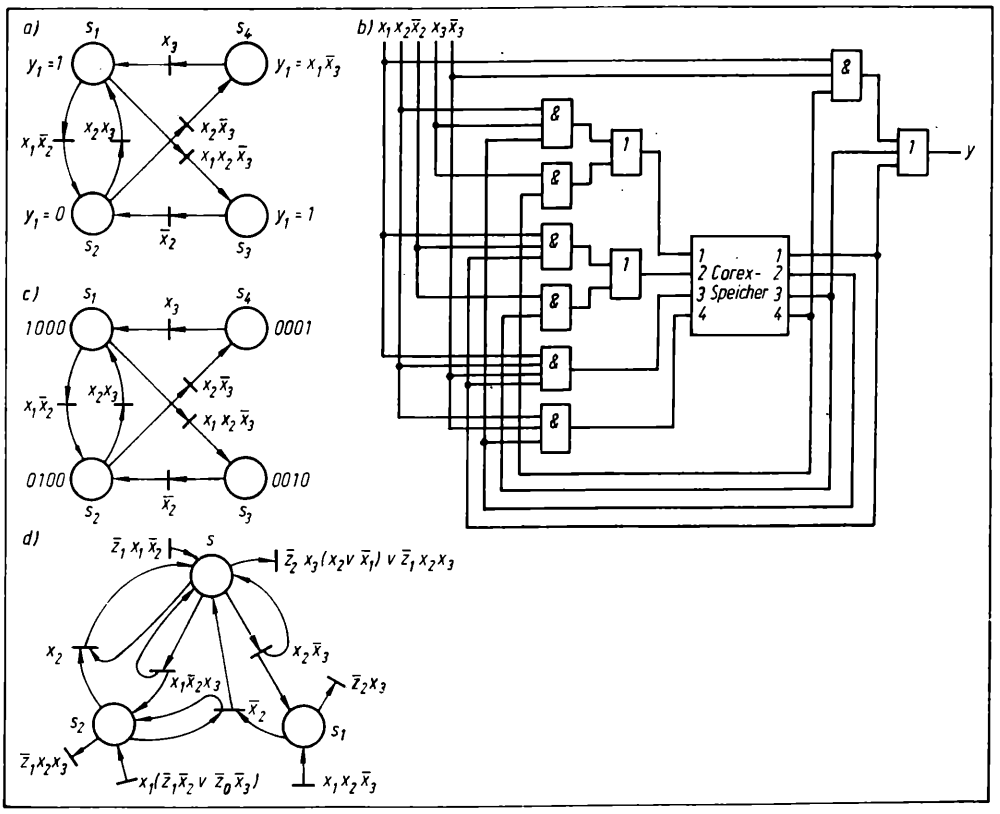



**Bild 4. Beispiel einer Corex-Realisierung**

a) Petri-Netz-Darstellung des Graphen aus Bild 1a; b) Corex-Realisierung zum Netz aus a); c) Netz, das das Verhalten der Corex-Schaltung aus b) widerspiegelt (Analyse-Netz): d) Analyse-Netz zur Schaltung aus Bild 1b

Platz des Netzes vorgelagerte Transition ein Konjunktionselement (AND) vorzuschalten, das die Konjunktion aus der Überführungsbedingung der Transition und denjenigen Ausgängen des Speichers erzeugt, die den Vorzustandskomponenten der Transition zugeordnet sind. Dazu werden an einem Eingang des AND-Elementes die Überführungsbedingungen und an den übrigen Eingängen die entsprechenden Ausgänge des Speichermoduls angeschlossen. Die resultierende Schaltungsstruktur ist die Corex-Struktur (vgl. Beispiel Bild 4).
Im Bild 4 ist der Graph aus Bild 1a als Petri-Netz dargestellt. Offensichtlich ist das Netz dem Graphen topologisch äquivalent; dies gilt für alle Steuerungsalgorithmen ohne Parallelarbeit. Somit ist für eine Corex-Realisierung der Übergang vom Graphen zum Netz keineswegs erforderlich: Der Corex-Entwurf kann unmittelbar von jeder formalisierten Darstellung des Steuerungsalgorithmus ausgehen. Ein Vergleich der Corex-Schaltung aus Bild 4b mit der Schaltung aus Bild 1b verdeutlicht, daß in Corex-Realisierungen kein Aufwand zur Speicherrücksetzung und zur Sicherung der Wettlauffreiheit erforderlich ist. Der Speichersetzaufwand erhöht sich dabei bei weitem nicht in dem Maße, daß diese Einsparungen ausgeglichen werden.
Eine weitere wesentliche Eigenschaft von Corex veranschaulicht Bild 4c: Das Analyse-Netz einer Corex-Realisierung ist topologisch äquivalent zum Netz der Aufgabenstellung. Dies gilt nicht für andere Realisierungen (Bild 4d).


**Zusammenfassung**

Mit dem Corex-System wird der industriellen Steuerungspraxis ein System zum formalisierten, leicht ausführbaren Entwurf digitaler Steuerungen angeboten. Das System umfaßt eine standardisierte, sehr transparente Hardware-Struktur sowie ein leicht erlernbares Entwurfsvorgehen. Die Corex-Hardware befreit den Projektanten von solchen Entwurfserfordernissen, wie der Ermittlung und Realisierung von Rücksetzbedingungen für die Speicherelemente, der Beseitigung von Wettläufen sowie der Strukturfindung und löst diese Probleme durch eine typisierte Schaltungsstruktur.
Mit der Kartenbaugruppe 2717 des Baugruppensystems ursalog 4000 wurde eine Speicherbaugruppe entwickelt, die es der Steuerungspraxis ermöglicht, das Corex-Entwurfssystem anzuwenden.
Der mathematische Hintergrund des Corex-Systems ist das Konzept der Petri-Netze. Es entstand auf der Grundlage einer speziellen steuerungstechnischen Interpretation der Elemente eines Petri-Netzes.


**Literatur**


[1] *Hummitzsch, P.; König, R.:* Corex — Ein System zum Entwurf komplexer digitaler Steuerungen. ZKI-Informationen (1978) H. 1, S. 72–76.
[2] *Hummitzsch, P.; König, R.:* Ein problemunabhängiger Standardspeicherblock als Grundlage für programmierbare digitale Strukturen. ELEKTRIE 32 (1978) H. 6, S. 295.
[3] *Könitzer, L.:* Anwendung der Zustandsspeicherbaugruppe des Baugruppensystems ursalog 4000. IMPULS 21 (1981) H. 4, S. 156–160.
[4] *Döring, G.; Gulbins, M.; Hummitzsch, P.; König, R.; Quäck, L.:* Vorläufige Projektierungsrichtlinie für das System Corex zum systematischen Entwurf und zur Realisierung verbindungsprogrammierter digitaler Steuerungen auf der Basis des Kartenbaugruppensystems ursalog 4000. AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Institutsteil Dresden, 1980 (vervielfältigtes Manuskript).
[5] Projektierungshinweise ursalog 4000 E (Ergänzung der Projektierungshinweise ursalog 4000). Institut für Regelungstechnik, Berlin 1980.
[6] *Starke, P.:* Petri-Netze. Eine Einführung. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1980.
[7] *Petri, C. A.:* Interpretations of Net Theory. Internal Report GMD-ISF-75-07, Bonn (1975, 1976).


msr 7609


Dr.-Ing. *G. Franke* und Dipl.-Ing. *S. Rülke*, Dresden[1])


# Zur Synchronisation der Steuerung mit dem gesteuerten Prozeß

IA 5.6.

## 0. Einleitung

Für die automatische Steuerung z. B. industrieller Prozesse muß u. a. gewährleistet sein, daß die Zustände von gesteuertem System (Prozeß) und Steuerung (Automat) nach Inbetriebnahme der Steuerung oder nach Störungen in Übereinstimmung gebracht (synchronisiert) werden.
Betrachtet man die Steuerung auf der Ebene der Funktionsbeschreibung (z. B. Steuergraph [3] und [4]), so erreicht man die Zustandssynchronisation üblicherweise dadurch, daß spezielle (u. U. zusätzliche einzuführende) Knoten, die einem Startzustand des Prozesses entsprechen, bei Auftreten bestimmter Eingangsbelegungen durch von außen einzugebende Initialisierungsimpulse (z. B. RESET — Bediensignal) markiert werden. Diese einstellbare Anfangsmarkierung muß nicht im normalen (zyklischen) Betrieb auftreten. Ist das mit Abschalten der Steuerung (z. B. durch Störungen oder Betätigen von „NOT-AUS") verbundene Unterbrechen des Prozeßablaufes nicht auf durch initialisierbare Knoten repräsentierte Startzustände des Prozesses beschränkt, kann hinsichtlich des Synchronisierens bei der Wiederinbetriebnahme der Steuerung erheblicher Aufwand erforderlich sein. Da beim Abschalten die Information über den Zustand der Steuerung (bzw. den zugehörigen Zustand des Prozesses, dem eine Markierung von Knoten im Steuergraphen entspricht) verlorengeht, muß dann das gesteuerte System beispielsweise durch Handbetätigung zwecks Synchronisation mit der Steuerung in einen Startzustand gebracht werden, dem eine einstellbare Anfangsmarkierung entspricht.
Ziel des Beitrags ist es, neue Lösungsmöglichkeiten für das Synchronisieren von Steuerung und gesteuertem System vorzuschlagen. Dabei wird die Steuerung wieder auf der Ebene ihrer Funktionsbeschreibung betrachtet. Verwendet wird hier der Steuergraph. Die Überlegungen sind aber auf andere Beschreibungsmittel (z. B. Petri-Netze [7] und [10]) übertragbar, wobei für die in [10] gewählte Petri-Netzinterpretation die vorliegenden Gleichungen unmittelbar gelten. Der neue Aspekt besteht darin, daß auf der Beschreibungsebene untersucht wird, inwieweit einige Knoten des Graphen spezielle Eigenschaften (Quellcharakter) haben, die es gestatten, sie unter Beibehaltung ihrer „normalen" Rolle in der Prozeßsteuerung zur Zustandssynchronisation auszunutzen, ohne daß zusätzliche Maßnahmen,

[1]) Mitteilung aus der AdW der DDR, Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse, Institutsteil Dresden.

z. B. Eingeben von Initialisierungsimpulsen, erforderlich sind. Mit entsprechender Berücksichtigung des Quellcharakters im Steuergraphen wird die Zustandssynchronisation ohne Einführung zusätzlicher Knoten auch für Zustände erreicht, die im herkömmlichen Sinne keine Startzustände repräsentieren.

## 1. Quellbelegungen

Die Menge der möglichen Eingangsbelegungen einer Steuerung ist $X = \{X_1, X_2, \ldots, X_s\}$. Treten $n$ Eingangsvariable ($x_1$, $x_2$, ..., $x_n$) auf, so gilt $X_i \in \{0, 1\}^n$ mit $1 \leqq i \leqq s$. Ein Element $\sigma$ aus $\{0, 1, -\}^n$ (mit der üblichen Interpretation des Striches: 0 oder 1) heißt unvollständig spezifizierte Eingangsbelegung. Damit entspricht eine solche unvollständig spezifizierte Eingangsbelegung, in der Eingangsvariable mit „—" belegt sind, einer Belegungsmenge, deren Elemente vollständig spezifiziert sind. Mit dieser Interpretation kann $\sigma$ als Teilmenge von $X$ aufgefaßt werden. Im folgenden wird $\sigma$ kurz als (Eingangs-) Belegung bezeichnet.

Betrachtet man einen Steuergraphen hinsichtlich seiner Markierung, so ist ein beliebiger Knoten $Z_j$ nach Wechsel der Eingangsbelegung unter folgenden Bedingungen markiert:

1a) Vor Wechsel der Eingangsbelegung war der Vorknoten $Z_i$ markiert und

1b) die Übergangsbedingung in den Knoten $Z_j$ wird durch die aktuelle Eingangsbelegung erfüllt, d. h. die aktuelle Belegung der Eingangsvariablen der Steuerung ist in der Belegungsmenge $D_{ij}$ (Kantendefinitionsbereich) enthalten

oder

2a) vor Wechsel der Eingangsbelegung war $Z_j$ bereits markiert und

2b) die aktuelle Belegung der Eingangsvariablen ist in $D_j$ (Knotendefinitionsbereich) enthalten, und keine Übergangsbedingung zu Nachfolgern ist erfüllt.

Das Markieren des Knotens $Z_j$ kann aber genau dann von der letzten Markierung (Bedingung 1a) bzw. 2a)) unabhängig gemacht werden, wenn der aktuellen Eingangsbelegung $\sigma$ das Markieren von $Z_j$ eindeutig zugeordnet wird. So werden z. B. Knoten, die NOT-AUS- bzw. globale STOP-Zustände repräsentieren, stets mit dem Auftreten von bestimmten signifikanten Eingangsvariablen eingenommen (z. B. NOT-AUS-Taster $x_N = 1$). Für das Markieren der entsprechenden Knoten ist es darum gleichgültig, welcher Knoten zuletzt markiert war.

In Verallgemeinerung der in [1] und [2] eingeführten Begriffe „Quellzustand 1. und höherer Ordnung" wird definiert:

**Def. 1**

Eine Eingangsbelegung $\sigma$ einer Steuerung heißt Quellbelegung, wenn ihr ohne Berücksichtigung der vorliegenden Markierung stets das Markieren eines konkreten Knotens $Z_j$ zugeordnet werden kann.

Der Quellcharakter einer Belegung $\sigma$ bezieht sich somit nur auf $Z_j$. Bilden alle Quellbelegungen eines Automaten die Menge $X'$, so kann die allgemeine Überführungsfunktion

$$f: X \times Z \to Z$$

in zwei Teile $f'$ und $f''$ zerlegt dargestellt werden, ohne daß sich das Eingangs/Ausgangsverhalten der Steuerung ändert:

$$f': X' \to Z$$

$$f'': X'' \times Z \to Z$$

mit

$$X = X' \cup X''; \; X' \cap X'' = \varnothing$$

und

$X$: Menge aller Eingangsbelegungen;

$Z$: Menge aller Zustände.

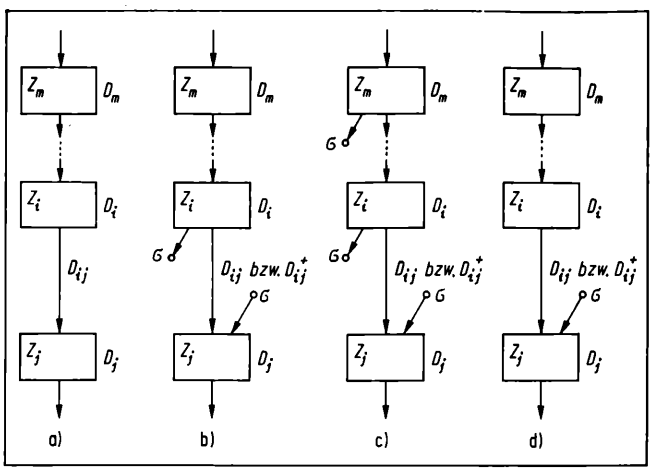



**Bild 1. Teil eines Steuergraphen — Berücksichtigung von Quellbelegungen**

Bild 1a) zeigt einen Teil eines Steuergraphen ohne Berücksichtigung von Quellbelegungen. Tritt im Knotendefinitionsbereich $D_j$ des Knotens $Z_j$ eine Quellbelegung $\sigma$ auf, so wird der Quellcharakter von $\sigma$ wie folgt im Steuergraphen berücksichtigt: Für $\sigma$ wird gemäß Bild 1b) am Eingang von $Z_j$ eine Kante mit Markenquelle (○→) und, sofern $\sigma$ außer in $D_j$ auch in $D_{ij}$ enthalten ist, am Ausgang des Vorknotens $Z_i$ eine Kante mit Markensenke (→○) zusätzlich eingeführt. Diese Quell- bzw. Senkenkanten sind jeweils mit $\sigma$ bewertet. Ist $\sigma$ in $D_{ij}$ enthalten, kann die durch Eintragen der Quell- und Senkenkanten entstandene Redundanz beseitigt werden, indem ein korrigierter Definitionsbereich $D_{ij}^+$ verwendet wird mit $D_{ij}^+ = D_{ij} \setminus \sigma$.

Gilt $D_{ij}^+ = \emptyset$, dann entfällt die Kante von $Z_i$ nach $Z_j$. Um die Eindeutigkeit des Markierens durch Quellbelegungen auch dann zu sichern, wenn die letzte Markierung (z. B. durch Störungen oder nach Einschalten der Steuerung) zufällig entstanden ist, reicht es nicht aus, nur den Vorknoten (wie im Bild 1b) zu löschen. Hier ist es erforderlich, alle Knoten (z. B. durch globales RESET) zu löschen. Im Steuergraphen wird das durch Markensenken an allen von $Z_j$ verschiedenen Knoten berücksichtigt (Bild 1c). Da mit dieser Maßnahme durch Quellbelegungen zunächst stets alle Marken gelöscht werden und dann der ausgezeichnete Knoten markiert wird, wird vereinbart, alle Markensenken nicht zu zeichnen (Bild 1d). Schaltungstechnisch entsteht für das globale Löschen kein Zusatzaufwand, wenn z. B. der Speicherbaustein 2717 des ursalog 4000 [11] verwendet wird. Bei diesem wird vor jedem neuen Markieren selbsttätig die alte Markierung gelöscht.

Für die Anwendung beim Entwurf ist es zweckmäßig, den Begriff der Quellbelegung weiter zu spezifizieren. Dabei wird vorausgesetzt [4], daß die jeweiligen Übergangsbelegungen im zugehörigen Zielknoten auftreten, d. h.

$$\bigcup_{i \in V(j)} D_{ij} \subseteq D_j$$

$V(j)$ ist Indexmenge der Vorgängerknoten von $Z_j$.

Für die folgende Definition wird aus Gründen der Übersichtlichkeit vereinbart, daß der betrachtete Knoten $Z_j$ eines Steuergraphen weder an Durchläufen noch an Parallelarbeit beteiligt ist.

**Def. 2**

Eine Belegung $\sigma$, $\sigma \in D_j$ heißt Quellbelegung 1. Ordnung bezüglich des Knotens $Z_j$, wenn gilt

$$\sigma \cap \bigcup_{m \in K \setminus \{j\}} D_m = \emptyset . \qquad (1)$$

$K$ ist die Indexmenge aller Knoten des Steuergraphen.

Das Charakteristische von Quellbelegungen 1. Ordnung besteht darin, daß beim Auftreten einer Quellbelegung $\sigma$ bezüglich $Z_j$ stets nur $Z_j$ markiert wird.

**Bemerkung zu Gl. (1):**

Ist $Z_j$ an Durchläufen und/oder Parallelarbeit beteiligt, ist Gl. (1) nur hinreichende Bedingung für Quellbelegungen 1. Ordnung. Es besteht die Möglichkeit, daß neben den mit Gl. (1) ermittelten Quellbelegungen 1. Ordnung noch weitere auftreten. Auf die Verallgemeinerung von Gl. (1) für Durchläufe und Parallelarbeit wird hier verzichtet; entsprechende Bedingungen sind in [5] und [6] angegeben.

Im Gegensatz zu Quellbelegungen 1. Ordnung kann sich die Anzahl der Marken im Vergleich zum ursprünglichen Steuergraphen (ohne Berücksichtigung der Quellbelegungen) beim Auftreten bestimmter Belegungen, die dann Quellbelegungen 2. Ordnung genannt werden, vergrößern. Ist eine Belegung $\sigma$ keine Quellbelegung 1. Ordnung bezüglich eines Knotens $Z_j$, ist es aber möglich, mit dem Auftreten von $\sigma$ stets das Markieren von $Z_j$ (durch Einfügen von Markenquellen) zu erzwingen, ohne daß sich das Eingabe/Ausgabeverhalten der Steuerung ändert, so heißt $\sigma$ „Quellbelegung 2. Ordnung bezüglich $Z_j$".

In diesem Fall kann $Z_j$ zusätzlich zu anderen Knoten markiert sein, obwohl das für den geforderten Prozeßablauf nicht notwendig ist.

Bevor die Definition für Quellbelegungen 2. Ordnung angegeben werden kann, ist es erforderlich, den Definitionsbereich der Ergebnisfunktion $\lambda$ eines Automaten von der Menge $\boldsymbol{Z} \times \boldsymbol{X}$ auf die Menge $\boldsymbol{Z} \times \boldsymbol{F}(\boldsymbol{X})$ auszudehnen [13]:

Erweiterte Ergebnisfunktion $\Lambda: \boldsymbol{Z} \times \boldsymbol{F}(\boldsymbol{X}) \rightarrow \boldsymbol{F}(\boldsymbol{Y})$

mit

$\boldsymbol{Y}$: Menge aller Ausgangsbelegungen, Ausgangsalphabet
$\boldsymbol{F}(\boldsymbol{X})$: Eingangshalbgruppe: Menge aller Wörter über $\boldsymbol{X}$
$\boldsymbol{F}(\boldsymbol{Y})$: Ausgangshalbgruppe; Menge aller Wörter über $\boldsymbol{Y}$.

**Def. 3**

$\sigma$ ist Quellbelegung 2. Ordnung bezüglich $Z_j$, wenn gilt

$$\forall m \forall p \{m \in \boldsymbol{K} \setminus \{j\} \wedge p \in \boldsymbol{P}(\sigma, Z_m) \rightarrow \boldsymbol{L}[\Lambda(Zj, p)] \leqq \boldsymbol{L}[\Lambda(Z_m, p)]\} \quad (2)$$

mit

$\boldsymbol{P}(\sigma, Z_m)$: Menge aller Elemente (Eingangswörter) aus $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{X})$, die mit Belegung $\sigma$ im Knoten $Z_m$ beginnen

$\Lambda(Z_m, p)$: Vom Zustand $Z_m$ durch $p \in \boldsymbol{P}$ erzeugte Abbildung auf $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{Y})$; $\Lambda(Z_m, p) \in \boldsymbol{F}(\boldsymbol{Y})$; (erweiterte Ergebnisfunktion)

$\boldsymbol{L}[\Lambda(Z_m, p)]$: letzte Ausgangsbelegung im Ausgangswort $\Lambda(Z_m, p)$

$\boldsymbol{K}$: Indexmenge aller Knoten.

Die Relation $\leqq$ ist bitweise definiert.

Beziehung 2 gilt für Durchläufe nur unter der Voraussetzung, daß $Z_m$, $Z_j$ und $\Lambda$ stabil auftreten (also Endpunkte von Durchläufen sind).

**Bemerkung zu Gl. (2):**

Existiert für ein konkretes $\Lambda(Z_m, p)$ kein $\Lambda(Z_j, p)$, so kann mit Gl. (2) keine Aussage über den Quellcharakter von $\sigma$ getroffen werden. Auf eine Verallgemeinerung von Gl. (2) wird im Rahmen des Beitrages verzichtet, da dieses Problem durch die Einführung zusätzlicher, mit $\boldsymbol{L}[\Lambda(Z_m, p)]$ bewerteter Markensenken für $Z_j$ lösbar ist, bzw. sich die Anwendung von Gl. (2) durch die Vorgehensweise in Abschnitt 2.2.2. umgehen läßt.

Ist eine Belegung $\sigma$ Quellbelegung 2. Ordnung bezüglich $Z_j$, so ist $\sigma$ auch im Definitionsbereich mindestens eines weiteren Knotens $Z_m$ $(m \neq j)$ enthalten. Mit $\sigma$ kann aber $Z_j$ auch dann markiert werden, wenn sich im „normalen Betrieb" die Marke in $Z_m$ befindet. Umgekehrt ist es aber i. allg. nicht möglich, $Z_m$ parallel zu $Z_j$ zu markieren, da sich der Quellcharakter von $\sigma$ nur auf $Z_j$ bezieht. Hinsichtlich der Zielstellung einer Zustandssynchronisation ist es aber erforderlich, beim Auftreten der Belegung $\sigma$ die geforderte Markierung eindeutig zuzuordnen. Das ist genau dann nicht möglich, wenn $\sigma$ bezüglich $Z_m$ keine Quellbelegung 2. Ordnung ist, vom Prozeß her aber mit dem Auftreten von $\sigma$ das Markieren von $Z_m$ gefordert wird. Aus diesem Grund hat eine Quellbelegung 2. Ordnung $\sigma$ nur dann Bedeutung für die Zustandssynchronisation, wenn sich ihr Quellcharakter auf alle Knoten bezieht, in deren Definitionsbereichen $\sigma$ enthalten ist:

$\sigma$ ist Quellbelegung 2. Ordnung bezüglich aller Knoten $Z_k$ mit

$\bigcup_{k \in K} \boldsymbol{D}_k \cap \sigma \neq \emptyset$, wenn gilt

$$\forall i \forall h \forall p \{i \in \boldsymbol{I} \wedge h \in \boldsymbol{I} \setminus \{i\} \wedge p \in \boldsymbol{P}(\sigma, Z_h) \rightarrow \rightarrow \boldsymbol{L}[\Lambda(Z_i, p)] = \boldsymbol{L}[\Lambda(Z_h, p)]\} \quad (3)$$

mit $\boldsymbol{I}$: Indexmenge von $\boldsymbol{M}$

$$\boldsymbol{M} = \{\boldsymbol{D}_l \setminus \boldsymbol{D}_l \in \bigcup_{k \in K} \boldsymbol{D}_k \wedge (\boldsymbol{D}_l \cap \sigma \neq \emptyset)\}.$$

## 2. Anwendungsaspekte

### *2. 1. Ausnutzen der Quellbelegungen für das Synchronisieren*

Quellbelegungen nach den Beziehungen (1) bzw. (3) deuten auf kombinatorische Anteile in der Beschreibung hin. Quellbelegungen erlauben daher, die Information über die aktuelle (letzte) Markierung des steuernden Automaten bei störungsbedingtem Markenverlust oder bei Inbetriebnahme der Steuerung nur aus den konkreten Eingangs-(Prozeß)signalen abzuleiten. Ein Ziel beim Steuerungsentwurf ist es, diese für bestimmte Zustände des gesteuerten Systems vorhandenen Quellbelegungen für eine Synchronisation mit dem Zustand der Steuerung durch Anwendung der Beziehungen (1) oder (3) zu erkennen und zu nutzen. Da das Prüfen auf Quellbelegungen 2. Ordnung nach Beziehung (3) relativ aufwendige Untersuchungen erfordert, kann ihre Anwendung mit der Vorgehensweise unter Abschnitt 2.2.2. umgangen werden, so daß zunächst nur gemäß Gl. (1) auf Quellbelegungen 1. Ordnung untersucht wird.

### *2.2. Erzeugen von Quellbelegungen*

Für die Zustandssynchronisation ist es neben der Ausnutzung vorhandener Quellbelegungen i. allg. auch sinnvoll, zusätzlich für weitere ausgewählte Zustände Quellbelegungen zu erzeugen. Ziel ist es, auf diese Weise möglichst viele „Stützstellen" zu schaffen, bei denen die Steuerung bei Inbetriebnahme „eingefangen" wird. Befindet sich zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme die Steuerung in keinem durch Quellbelegungen gekennzeichneten Zustand, wird das zu steuernde System per Handsteuerung bis zur nächsten durch Quellbelegungen gekennzeichneten Stützstelle gefahren. Dort übernimmt der Automat die Steuerung wieder.

Ein weiterer Gesichtspunkt für die Auswahl der Stützstellen besteht darin, solche Prozeßzustände für die Zustandssynchronisation auszuwählen, bei denen der mit Unterbrechung des Prozeßablaufes verbundene Markenverlust der Steuerung besonders ungünstige Folgen hat. Für die entsprechenden Knoten sind dann alle Belegungen des Knotendefinitionsbereiches als Quellbelegungen auszulegen.

#### 2.2.1. Änderungen auf der Prozeßebene

Durch Manipulation der Eingangssignale der Steuerung, die aus dem Prozeß bereitgestellt werden, ist es u. U. möglich, Quellbelegungen 1. und 2. Ordnung zu erzeugen (Zuordnung anderer Belegungen, neue Eingangsignale ...). Eine weitere Motivation für Änderungen auf der Prozeßebene besteht darin, eine derartige Zuordnung von Eingangsbelegungs-Knoten(Zu-

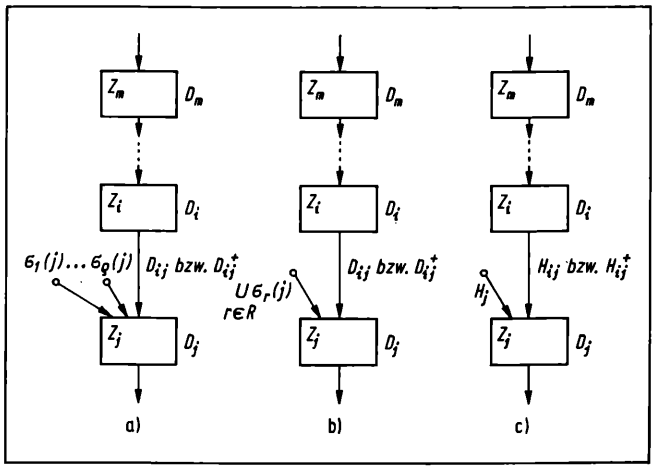



Bild 2. Teil eines Steuergraphen — Ermittlung des Quellschaltausdrucks

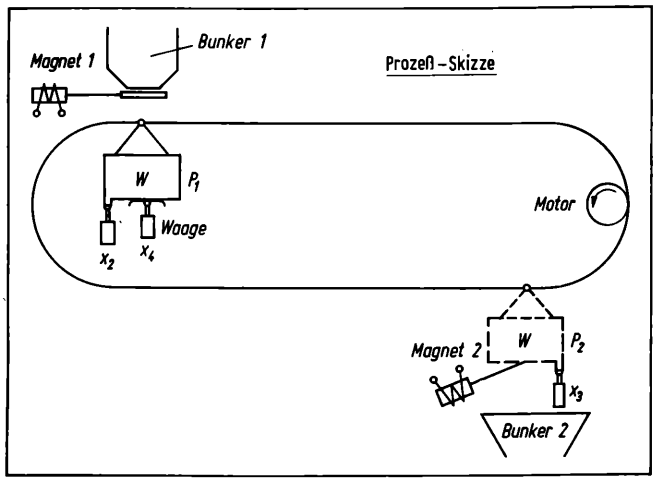
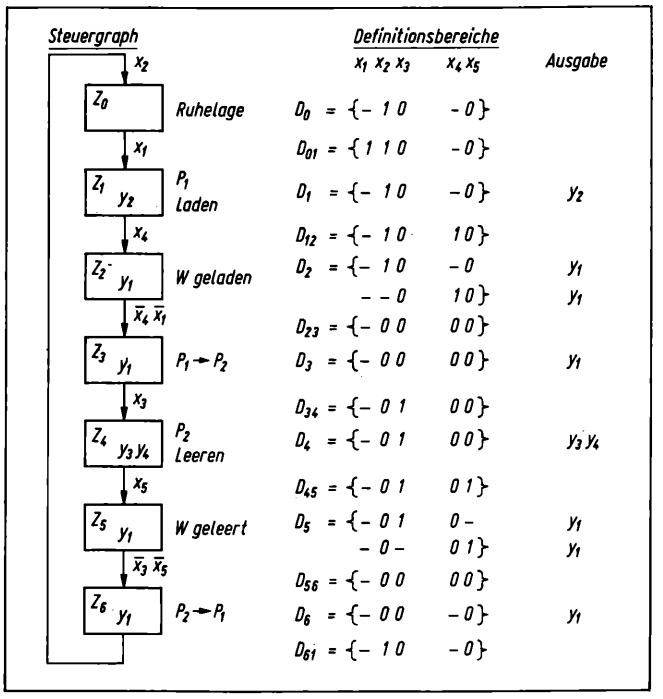



Bild 3. Seilbahn-Förderanlage

Bild 4. Steuergraph zu Bild 3 mit Definitionsbereichen (mögliche Belegungen der Eingangsvariablen in den Kanten bzw. Knoten des Graphen)




stand)-Ausgabe zu erzeugen, daß Knotenverschmelzungen gemäß Abschnitt 2.2.2. möglich sind.

Grundgedanke ist, daß das bisher vorhandene lokale Speicherverhalten des steuernden Automaten teilweise durch den Prozeß übernommen wird. Dazu ist der Prozeß nach sinnvollen Möglichkeiten für Änderungen hinsichtlich der Bereitstellung der Eingangssignale und damit nach entsprechenden Möglichkeiten für konstruktive Änderungen zu analysieren (z. B. Wandlung von Impuls- in Dauersignale, Ersatz der Taster durch Schalter oder Einführung zusätzlicher bzw. anderer Eingangssignale). Bei den konstruktiven Änderungen ist darauf zu achten, daß sich am prinzipiellen Prozeßablauf nichts ändern darf.

### 2.2.2. Umformungen auf der Beschreibungsebene

Die Aussagen dieses Abschnittes gelten für Knoten $Z_m$, die für $\sigma$ stabil sind (nicht durchlaufen werden), d. h.:

$$\boldsymbol{D}_m \cap \bigcup_{l \in \boldsymbol{N}(m)} \boldsymbol{D}_{ml} \cap \sigma = \emptyset .$$

$\boldsymbol{N}(m)$ ist Indexmenge der Nachfolgeknoten.

Das Gewinnen von Quellbelegungen durch Umformung im Graphen beruht darauf, daß Eingangsbelegungen, die in mehreren Knotendefinitionsbereichen auftreten, bei Verträglichkeit aller dieser Knoten durch Knotenverschmelzung [4] zu Quellbelegungen 1. Ordnung werden.

Für Knoten, in deren Definitionsbereichen eine konkrete Quellbelegung 2. Ordnung $\sigma$ nach Bedingung (3) enthalten ist, gilt, daß sie (zumindest bedingt [12]) verträglich sind. Durch entsprechende Knotenverschmelzungen können Quellbelegungen 2. Ordnung somit auf solche 1. Ordnung zurückgeführt werden, und damit erübrigt sich die relativ aufwendige Prüfung auf Quellbelegungen 2. Ordnung.

### *2.3. Berechnung der Schaltausdrücke*

Für die Ansteuerung eines Knotens über seine Quellkanten kann in Analogie zur Berechnung des Schaltausdrucks $H_{ij}$ [4] ein Quellschaltausdruck $H_j$ berechnet und realisiert werden (Bild 2c). Dazu wird festgelegt, daß für alle Quellbelegungen $\sigma_r$ eines Knotens $Z_j$ ($r \in \boldsymbol{R}$; $\boldsymbol{R}$: Index-Menge der Quellbelegungen bezüglich $Z_j$) nur eine gemeinsame Quellkante, die mit $\bigcup_{r \in \boldsymbol{R}} \sigma_r$ bewertet ist, einzutragen ist (Bild 2a, b).

Der Quellschaltausdruck $H_j$ ist minimaler Ausdruck für die durch $\boldsymbol{M}_j^1$ und $\boldsymbol{M}_j^0$ definierte Funktion $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{M}_j^1, \boldsymbol{M}_j^0)$ mit der Einsmenge $\boldsymbol{M}_j^1 = \bigcup_{r \in \boldsymbol{R}} \sigma_r$ und der Nullmenge $\boldsymbol{M}_j^0 = \bigcup_{m \in \boldsymbol{K}} \boldsymbol{D}_m \setminus \boldsymbol{M}_j^1$.

Bemerkungen

- Die formale Übernahme des im herkömmlichen Sinne [4] berechneten Schaltausdrucks $H_{ij}$ für die Ansteuerung eines Knotens über seine Quellkanten führt i. allg. zu falschen Ergebnissen, da sich die Berechnungsvorschriften von $H_j$ und $H_{ij}$ unterscheiden.
- Ist eine Quellbelegung $\sigma$ in $\boldsymbol{D}_{ij}$ enthalten, so kann analog zur Berechnung von $\boldsymbol{D}_{ij}^+$ ein korrigierter Schaltausdruck $H_{ij}^+$ berechnet werden (Bild 2).

## 3. Beispiel

| Eingangsvariable | Ausgangsvariable |
|---|---|
| $x_1$: EIN-Schalter | $y_1$: Motor |
| $x_2$: Wagen in $P_1$ | $y_2$: Laden (Magnet 1) |
| $x_3$: Wagen in $P_2$ | $y_3$: Leeren (Magnet 2) |
| $x_4$: Waage | $y_4$: Ansteuerung Zeitglied $T$ |
| $x_5$: Ausgang Zeitglied $T$ | |

Beschreibung:

Bild 3 zeigt das stark vereinfachte Schema einer Seilbahn-Förderanlage. Der Förderwagen $W$ befördert Schüttgut von

$P_1$ nach $P_2$. In Stellung $P_1$ ($x_2 = 1$) wird durch Öffnen der Bunkerklappe durch Magnet 1 solange Schüttgut in $W$ eingefüllt, bis die gewünschte Menge geladen ist (Waage $x_4 = 1$). Anschließend wird $W$ entgegen dem Zeigersinn nach $P_2$ ($x_3 = 1$) transportiert und dort geleert. Dazu wird die Bodenklappe von $W$ durch Magnet 2 für die Dauer des Anliegens des Steuerstromes (Zeitglied $T$) geöffnet. Nach dem Leeren bewegt sich $W$ entgegen dem Zeigersinn wieder nach $P_1$ und sofern der nur in der Ruhelage unter Bunker 1 wirksame EIN-Schalter geschlossen ist ($x_1 = 1$), beginnt ein neuer Zyklus.

Der Steuergraph mit Definitionsbereichen (Bild 4) beschreibt das Verhalten der zugehörigen Steuerung. Das Initialisieren wird dabei nicht berücksichtigt.

Zur Synchronisation der Zustände von Steuerung und Prozeß bei der Inbetriebnahme der Steuerung kann in üblicher Weise das Initialisieren des Steuergraphen z. B. dadurch erfolgen, daß ein konkreter Knoten ($Z_0$) durch einen von außen einzugebenden Initialisierungsimpuls eine Marke erhält. Dazu muß sich der Förderwagen in der Ruhelage (unter dem Bunker) befinden bzw. vorher dorthin gebracht worden sein (Handsteuerung). Mit dem Initialisierungsimpuls sind die evtl. zufällig entstandenen Marken aller von $Z_0$ verschiedenen Knoten durch geeignete schaltungs- bzw. programmtechnische Maßnahmen zu löschen.

Durch Ausnutzen bzw. Erzeugen von Quellbelegungen können für weitere Zustände Initialisierungssituationen und damit Stützstellen für die Zustandssynchronisation geschaffen werden. Die Untersuchung der Kantendefinitionsbereiche auf Quellbelegungen (vgl. Abschnitt 3.1.) ergibt in $\boldsymbol{D}_2$

mit

$$\sigma_1 = [\overset{x_1}{1} \quad \overset{x_2}{-} \quad \overset{x_3}{0} \quad \overset{x_4}{1} \quad \overset{x_5}{0}\}$$

und in $\boldsymbol{D}_5$ mit

$$\sigma_2 = \{-\ 0\ -\ 0\ 1\}$$

Quellbelegungen 1. Ordnung. Es ist zu beachten, daß bezüglich $Z_0$ und $Z_1$ für $\sigma_1$ ein Durchlauf stattfinden kann. Quellbelegungen können außerdem gemäß Abschnitt 2.2.1. durch Änderungen auf der Prozeßebene erzeugt werden. Das Zeitglied $T$ wird dazu beispielsweise so dimensioniert, daß $x_5 = 1$ länger anliegt als $x_3 = 1$. Das führt zur Änderung des ursprünglichen Definitionsbereiches von $\boldsymbol{D}_5$ (Bild 4).

Neu: $\boldsymbol{D}_5 = \{-\ 0\ -\ 0\ 1\}$.

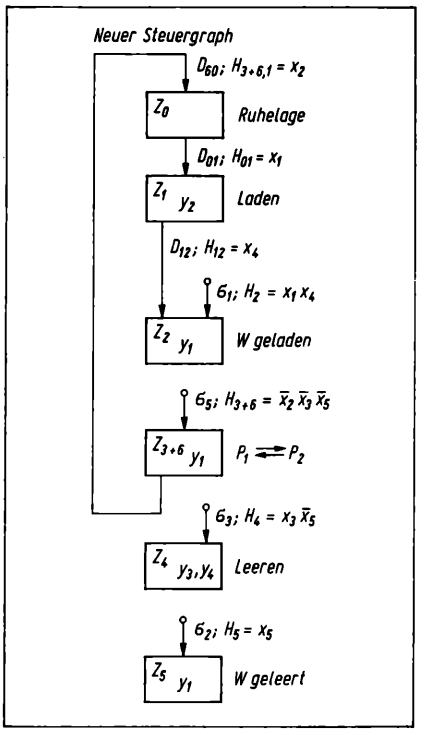
Damit wird Belegung $\sigma_3 = \{-0100\}$ Quellbelegung 1. Ordnung. Umformungen auf der Beschreibungsebene können ebenfalls zusätzliche Quellbelegungen ergeben (vgl. Abschnitt 2.2.2.). Das Verschmelzen von $Z_3$ und $Z_6$ mit $\boldsymbol{D}_{3+6} = \{-\ 0\ 0\ -\ 0\}$ als Definitionsbereich des verschmolzenen Knotens ergibt $\sigma_5 = \{-\ 0\ 0\ -\ 0\}$ als Quellbelegung 1. Ordnung.

Bild 5 zeigt den umgeformten Steuergraphen mit Quellbelegungen und den zugehörigen Quellschaltausdrücken $\boldsymbol{H}_j$ (vgl. Abschnitt 2.3.). Vorausgesetzt, daß bei Inbetriebnahme der Steuerung zunächst alle Marken gelöscht werden, ergeben sich durch die Quellbelegungen im Bild 5 zahlreiche Initialisierungsmöglichkeiten. Prozeß und Steuerung sind dann synchronisiert, wenn nach der Inbetriebnahme eine dieser Quellbelegungen aufgetreten ist.

## 4. Zusammenfassung

Zur Gewährleistung der Synchronisation der Zustände von Steuerung und gesteuertem System bei der Inbetriebnahme der Steuerung wird eine prinzipielle Lösung vorgestellt. Dazu wird der Begriff der Quellbelegung definiert und angewendet. Sind keine Quellbelegungen im Definitionsbereich eines konkreten Knotens enthalten, können sie bei Vorhandensein bestimmter Voraussetzungen durch Umformung auf der Beschreibungs- bzw. Prozeßebene erzeugt werden.

**Bild 5. Steuergraph mit Quellbelegungen und Quellschaltausdrücken**




Da mit Berücksichtigung der Quellbelegungen bestimmte Steuerungszustände automatisch initialisiert werden, ergibt sich für die Synchronisation der Zustände von Steuerung und gesteuertem System folgendes Verhalten: Nach störungsbedingtem Markenverlust (z. B. Betriebsspannungsausfall) und Beseitigung der Störungsursache bzw. bei normaler Inbetriebnahme ist das zu steuernde System per Handsteuerung nur bis in den nächstliegenden, durch Quellbelegungen gekennzeichneten Zustand zu führen. (Wird zum Zeitpunkt des Markenverlustes ein solcher Zustand bereits eingenommen, entfällt die Handsteuerung.) Dort übernimmt der Automat sofort ohne zusätzliche Maßnahmen, z. B. von außen einzugebende Initialisierungsimpulse, wieder die Steuerung.

### Literatur


[1] *David, R.:* Modular design of asynchronous circuits defined by graphs. IEEE Transact. on computers C-26 (1977) No. 8, pp. 727–737.

[2] *David, R.:* Synthese de reseaux sequentiels cellulaires. Automatisme XV (1970) No. 3, pp. 89–97.

[3] *Franke, G.; Koegst, M.:* Ein Verfahren zur Zustandsreduktion für taktkettenähnliche Steuerungen. Int. Wiss. Kolloquium TH Ilmenau 1976, S. 65–68.

[4] *Oberst, E.; Koegst, M.; Franke, G.:* Beschreibung binärer Steuerungen durch Steuergraphen. msr 21 (1978) H. 10, S. 572–578.

[5] *Rülke, S.:* Berücksichtigung von sogenannten Quellknoten im Steuergraphkonzept. Ingenieurbeleg TU Dresden, Sekt. Informationstechnik, 1980.

[6] *Rülke, S.:* Einbeziehung von Quellknoten in das Steuergraphkonzept unter Berücksichtigung von Parallelarbeit. Beleg „Wissenschaftl. Mitarbeit" TU Dresden, Sekt. Informationstechnik, 1980.

[7] *Franke, G.; Rülke, S.:* Zur Initialisierung von Steuergraphen mittels Quellbelegungen. ZKI-Informationen 1/81, S. 67–70.

[8] *Cavaroc, J. C.; Blanchard, M.; Gillon, J.:* An Approach to the Modular Design of Industrial Switching Systems. IFAC-Symp. Discrete Systems Riga 1974.

[9] *König, R.:* Petri-nets and their Amplication for a Standardizable Design of Switching Circuits. IFAC-Symp. Discrete Systems Dresden 1977.

[10] *Koegst, M.; Franke, G.:* Zur Beschreibung diskreter Steuerungen mit Hilfe steuerungstechnisch interpretierter Petri-Netze. ZKI-Informationen 1/79, S. 43–47.

[11] anonym: Katalog ursalog 4000.

[12] *Zander, H. J.:* Entwurf von Folgeschaltungen. Bd. 158 der REIHE AUTOMATISIERUNGSTECHNIK. Berlin: VEB Verlag Technik 1974.

[13] *Gluschkow, W. M.:* Theorie der abstrakten Automaten. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften 1963.


msr 7599

Dipl.-Ing. *R. Harzer*, Dipl.-Ing. *M. Raue* und Dipl.-Ing. *K. Römhild*, Karl-Marx-Stadt[1])

# Entwicklung eines Teach-in-Moduls für Schweißroboter

IA 5.6.2.

## 0. Einleitung

Im VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt war der Einsatz eines Punktschweißroboters aus dem vom Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR, Halle, entwickelten Baukastensystem ZIS 995 zu realisieren. Für diesen Roboter stand die Steuerung RS 4 AP ZIS 10–36 zur Verfügung. Die Steuerung war zugeschnitten auf einen Einsatzfall der Produktion von sehr großen Serien, so daß speziell der Programmierkomfort den Ansprüchen der Produktion kleiner Serien und damit häufigerem Schweißteilprogrammwechsel nicht genügte. Es bestand die Aufgabe, in relativ kurzer Zeit ein die Steuerung sinnvoll ergänzendes Programmiermodul zu schaffen, das sowohl eine einfachere Programmierung neuer Schweißteile als auch einen schnellen Programmwechsel bei Auflage neuer Baugruppen ermöglicht. Aufgrund der zur Verfügung stehenden Kapazität sollte dabei möglichst wenig in die vorhandene Schweißrobotersteuerung eingegriffen werden.

## 1. Aufgabenstellung

Bei den vom ZIS Halle entwickelten Steuerungen für Schweißroboter handelt es sich um achsweise aufrüstbare NC der dritten Generation. Die Steuerung setzt sich aus den jeweiligen Achsbaugruppen und einer zentralen Steuerbaugruppe zusammen. Die zentrale Steuerbaugruppe koordiniert Achssteuerbaugruppen, die Steuerung der Schweißteilaufnahme und die Schweißsteuerung (z. B. elektronische Thyristorsteuerung ELTROS II des Kombinates VEB Lokomotivbau-Elektrotechnische Werke „Hans Beimler" Hennigsdorf). Die Wege- und Geschwindigkeitsdaten werden in den Achssteuerbaugruppen verarbeitet, die Kommandos für Schweißteilaufnahme und Schweißsteuerung sowie weitere Schaltbefehle in der zentralen Steuerbaugruppe der Schweißrobotersteuerung. Das Problem besteht darin, daß als Programmspeicher Diodenmatrix-Leiterplatten eingesetzt sind — eine für Großserienfertigung durchaus akzeptable, weil wirtschaftliche Variante, für kleinere und häufig wechselnde Lose jedoch ungeeignet, da ein Programmwechsel, z. B. bei einem Vierachsen-Schweißroboter, das Wechseln von insgesamt sechs Kartenbaugruppen in der Steuerung durch den Bediener erfordern würde. Gleichzeitig ist mit diesem Programmspeicherprinzip die Speicherkapazität je Achse auf maximal 96 Schritte beschränkt, was bei größeren Schweißbaugruppen mit einer Vielzahl von Punktschweißstellen und/oder komplizierter Gestaltung der Schweißteilaufnahme zu Problemen führt [1] und [2].

Im VEB Numerik „Karl Marx" sind auf dem Schweißroboter Lose mit Stückzahlen zu je 100–200 Baugruppen zu schweißen, wobei derzeit bis zu 30 unterschiedliche Schweißprogramme zum Einsatz kommen. Es war deshalb eine Proprammeingabesteuerung (Teach-in-Modul) zu schaffen, die den Anforderungen einer effektiven Programmierung genügt und gleichzeitig über Möglichkeiten der leicht handhabbaren Korrektur der Programme sowie der Programmarchivierung verfügt. Zu realisieren waren im einzelnen:

- indirektes Teach-in mit einfacher, zugeschnittener Tastatur und ebenfalls einfach realisierter Bedienerführung durch entsprechenden Anzeigekomfort und das Ausschließen syntaktischer Fehler
- Satzsuchlauf („Schweißpunktsuchlauf")
- Programmsuchlauf (Speicherung mehrerer Programme in einer Datenkassette)
- Korrekturmöglichkeit einzelner Sätze und Wörter
- Einzelschritt- und Automatikbetrieb
- RAM-Arbeitsspeicher für jeweils ein Schweißprogramm zur Vermeidung von Verschleißerscheinungen am Kassettenlaufwerk sowie am Magnetband
- Doppeln.

## 2. Lösung

### *2.1. Hardware Teach-in-Modul*

Aufgrund der beschränkten Entwicklungszeit und -kapazität sowie im Interesse der späteren effektiv durchzuführenden Instandhaltung bestand die Notwendigkeit, auf vorhandene Baugruppen zurückzugreifen. Dafür boten sich von vornherein Baugruppen des Mikrorechners K1520 des VEB Kombinat Robotron an, ergänzt durch einige im VEB Numerik „Karl Marx" entwickelte Anschlußsteuerungen für die notwendige Peripherie (Anzeige, Eingabetastatur) sowie die Schnittstellenrealisierung zur Schweißrobotersteuerung. Als Speichermedium wurde auf die Magnetbandkassette als relativ robustes Mittel zur flexiblen Speicherung großer Datenraten zurückgegriffen, wobei derzeit noch das Gerät daro 1250 des VEB Kombinat Robotron zum Einsatz kommt. Allerdings wurde dessen Ansteuereinheit (Elektronikkassette daro 1250-2) durch eine von der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt, Sektion Informationstechnik, entwickelte Anschlußkartenbaugruppe ersetzt.

Den Grundaufbau des Teach-in-Moduls zeigt Bild 1.

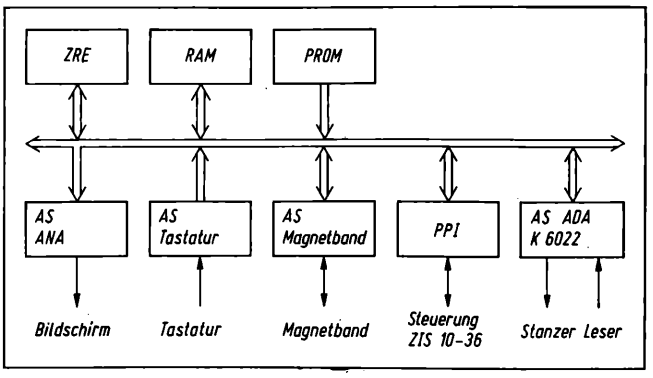
Aus dem Mikrorechnersystem K1520 wurden verwendet:

- Zentrale Recheneinheit (ZRE) K 2521 ... 2524
- Programmspeicher PFS K 3820
- Arbeitsspeicher OPS K 3520
  (oder Programm- und Arbeitsspeicher auf einer Kartenbaugruppe — OFS K 3620)
- Anschluß Leser/Stanzer ADA K 6022.

Ferner wurden folgende Kartenbaugruppen aus der Entwicklung des VEB Numerik „Karl Marx" eingesetzt:

- Anschlußsteuerung Alphanumerische Anzeige (AS ANA)
  Mit dieser Kartenbaugruppe kann eine alphanumerische Anzeige ANA 440 S oder ein handelsübliches Fernsehgerät über die Antenneneingangsbuchse an den K1520-Bus angeschlossen werden. Es können wahlweise 10 × 48 Zeichen oder 8 × 32 Zeichen angezeigt werden.
- Anschlußsteuerung Tastatur (AS Tastatur)
  Diese Kartenbaugruppe wird für den Anschluß einer alphanumerischen Tastatur an den Bus des Mikrorechners K1520

**Bild 1. Hardwarestruktur des Teach-in-Moduls**




[1]) Mitteilung aus dem VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt.

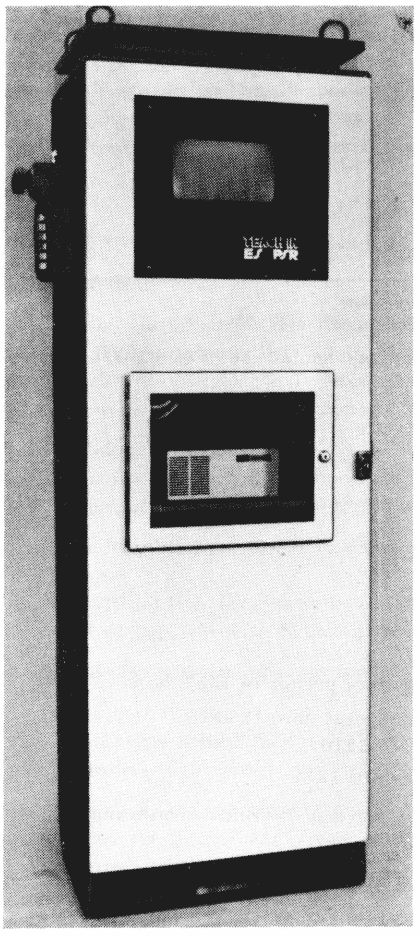


Bild 2. Gesamtansicht Teach-in-Modul

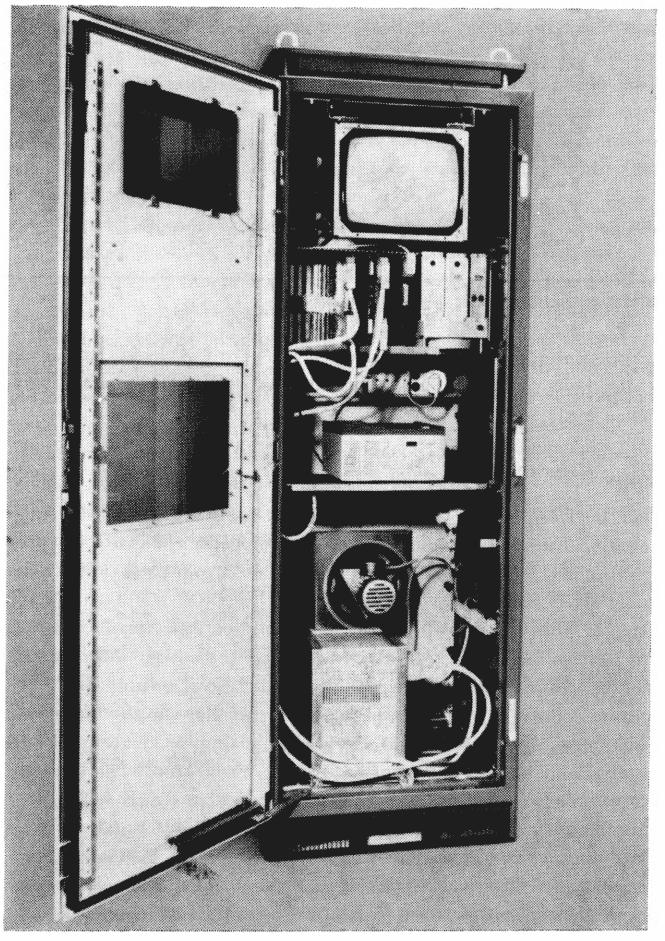


Bild 3. Teach-in-Modul, geöffnet ▶

eingesetzt. Es kann außerdem zusätzlich noch ein fotoelektrischer Leser FS 330 bzw. FS 313 (Hersteller: ZPA Kosire Praha/ČSSR) angeschlossen werden.

— Programmierbares paralleles Interface (PPI)

Hiermit kann eine maximal 32 bit umfassende parallele Schnittstelle realisiert werden. Diese Kartenbaugruppe dient hier in abgerüsteter Form als Schnittstelle zwischen Teach-in-Modul und der Robotersteuerung RS 4 AP ZIS 10—36.

Die von der TH Karl-Marx-Stadt entwickelte Anschlußsteuerung für das Kassettenmagnetbandgerät daro 1250, die die Elektronikkassette des daro 1250 sowie eine Anschlußsteuerung ADA K 6022 ersetzt, beinhaltet folgende Funktionen:

- Aufzeichnen eines Blocks
- Wiedergabe eines Blocks
- Rücksetzen eines Blocks
- Rücklauf bis Bandanfang
- Block löschen
- Gerät ausschalten.

Alle Kartenbaugruppen sind direkt an den K1520-Bus ansteckbar. Die Funktionseinheiten des Teach-in-Moduls sind in einem EGS-Gehäuse 1600 × 600 × 400, passend zur äußeren Gestaltung der Robotersteuerung, untergebracht, da ein Anflanschen eines durchaus verwendbaren kleineren Gehäuses nirgends möglich war. Im oberen Drittel (Bild 2) des Schrankes befindet sich der Bildschirm, die eingebaute verglaste Tür (Bild 3) ermöglicht den Zugang zum Kassettenmagnetbandgerät. Zur Bedienung ist ein Handbedientableau (Bild 4) mit einem 5 m langen Kabel vorgesehen, das es ermöglicht, unmittelbar neben dem zu schweißenden Teil zu programmieren. Für Servicearbeiten ist eine Anschlußmöglichkeit einer externen vollständigen alphanumerischen Tastatur vorgesehen.

### 2.2. *Veränderungen an der Robotersteuerung*

Diese Veränderungen sollten im Interesse eines minimierten Aufwandes gering bleiben. Der vorher in der Robotersteuerung eingesetzte Programmspeicher auf Basis von Diodenmatrix-Kartenbaugruppen ist jetzt im Teach-in-Modul als RAM-Arbeitsspeicher aufgebaut. Zur Bereitstellung aller Signale, die vorher die Diodenmatrizen lieferten, wurde eine spezielle Kartenbaugruppe entwickelt, die als Zwischenspeicher für die Daten des gerade laufenden Bearbeitungsschrittes dient. Als Speicher wurden hier 8-bit-E/A-Bausteine K 589 IR 12 (8212) eingesetzt, die softwaremäßig über das PPI entsprechend ausgewählt und beschrieben werden. Durch ein jeweils in der Robotersteuerung erzeugtes Koinzidenzsignal werden die Zwischenspeicher entsprechend dem eingegebenen Schweißprogramm für den nächsten abzuarbeitenden Programmschritt neu geladen.

Bild 4. Bedientastatur des Teach-in-Moduls

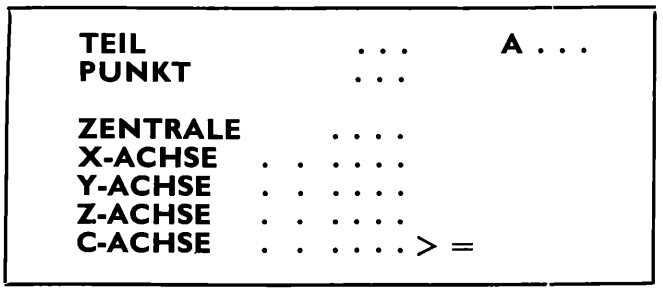



**Bild 5. Bildschirmformat Automatikbetrieb**

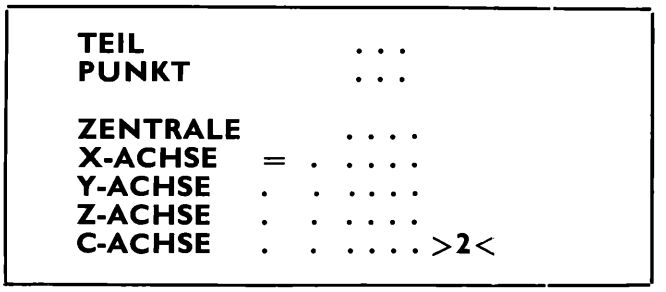



**Bild 6. Bildschirmformat Satzsuchlauf**

Eine solche Kartenbaugruppe ist für zwei Achsen ausgelegt, wobei jede durch Wickelverbindungen beliebig adressiert werden kann.

### *2.3. Software*

Das Betriebssystem für das Teach-in-Modul ist modular aufgebaut. Es gliedert sich in ein sogenanntes 3k-Monitorprogramm MONITOR 600 sowie das User-Programm (Entwicklung: VEB Numerik „Karl-Marx").
Das 3k-Monitorprogramm war ursprünglich entwickelt worden, um zeitsparend und effektiv Software testen zu können. Es bietet umfangreiche Möglichkeiten für die Testung der Programme und deren Zusammenspiel mit der angeschlossenen Peripherie. Für die PROM-Programmierung wird als nachladbarer Lochstreifen ein umfangreicher Programmierservice geboten. Verwendet wird der Programmierzusatz K 0420. Das Programmsystem „MONITOR 600" arbeitet auf Softwarebasis ohne eine Testpunkthardware. Es wird hier als Betriebssystem des Mikrorechners K1520 einschließlich des Betriebes peripherer Einheiten genutzt [6].

Das User-Programm, für das nochmals etwa 4k PROM benötigt werden, gliedert sich in:

1. Teach-in-Betriebssoftware
   - . Programmierung
   - . Korrektur
   - . Satzsuchlauf
   - . Programmsuchlauf
2. Ausgabe-Routine
   - . Einzelschrittbetrieb
   - . Automatikbetrieb
3. Bedienroutinen für weitere periphere Einheiten
   - . Kassettenmagnetbandgerät daro 1250
   - . Lochstreifenleser daro 1210
   - . Lochstreifenstanzer daro 1215

Mit dem User-Programm werden die Bildschirmformate für

- . Programmieren
- . Automatikbetrieb (Bild 5)
- . Satzsuchlauf (Bild 6)

erzeugt. Das Bildschirmformat „Programmieren" entspricht dem Format „Satzsuchlauf" ohne Parameter.
Die verwendete Tastatur ist aufgrund der einfacheren Handhabbarkeit auf das Problem zugeschnitten. Mit ihr können alle benötigten Befehle ausgeführt werden, wobei die einzelnen Tasten Doppelfunktion haben (Tafel).

Tafel. Tastaturfunktionen

| Taste | Funktion | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Monitorprogramm | | User-Programm | |
| | Symbol | Funktion | Symbol | Funktion |
| 1. 1. | ⏻ | Umschaltung | ⏻ | Umschaltung |
| 1. 2. | ⊢△⊣ | 1.1. und 1.2. "User"-Programm-Anfang | ⊢△⊣ | Programm-Start |
| 1. 3. | B | Setzen und Löschen eines Unterbrechungs-punktes | ⊢▽⊣ | Abspeichern in Arbeitsspeicher von Bildschirm |
| 1. 4. | ○ | RESET | ○ | RESET |
| 2. 1. | F | Speicherbereich mit vorgegebenen Daten füllen | I | Ausgabe des Programminhaltes auf den Bildschirm zur Robotersteuerung |
| 2. 2. | R | Register - Registereingabe und -anzeige | ● | Automatikbetrieb |
| 2. 3. | M | Umladen eines Speicherbereiches | → | Satzsuchlauf |
| 2. 4. | P | PROM-Programmieren | | |
| 3. 1. | G | Start eines Anwenderprogramms | ◇→ | Programmieren |
| 3. 2. | C | 2.4. und 3.2.: Füllen des Programmierpuffers | | |
| 3. 3. | D | Anzeige und Korrektur von Speicherinhalten | ⌒↓ | Abspeichern vom Arbeitsspeicher in das Magnetbandgerät |
| 3. 4. | L | Lochstreifen MC-U880 | ⌒↑ | Abspeichern vom Magnetbandgerät in den Arbeitsspeicher |
| 4. 4. | N | befehlsweise Programmabarbeitung | | dto. |
| 5. 4. | ← | Löschen des zuletzt eingeschriebenen Zeichens | | dto. |
| 6. 4. | SP | Space | | dto. |
| 6. 5. | < | Curser | | dto. |

Die Signalverarbeitung. Mit ihr können alle benötigten Befehle ausgeführt werden, wobei die einzelnen Tasten Doppelfunktion haben (Tafel).

### *2.4. Signalfluß*

Der Signalfluß innerhalb des Teach-in-Moduls erfolgt über den Datenbus des Mikrorechners. Über das programmierbare parallele Interface und die Verteiler-Kartenbaugruppen werden die Signale vom Datenbus an die Robotersteuerung ausgegeben. Bild 7 erläutert die Struktur der Signalverarbeitung.

## 3. Funktionsweise des Teach-in-Moduls [4]

### *3.1. Einschaltvorgang*

Das Teach-in-Modul wird gemeinsam mit der Robotersteuerung eingeschaltet. Mit dem Einschalten der Eingabesteuerung erscheint auf dem Bildschirm zur Kontrolle der

Grundinitialisierung des Teach-in-Moduls die Ausschrift „Monitor". Beim Monitorprogramm werden auf dem Bildschirm maximal 10 × 48 Zeichen geschrieben. Durch weiteres Initialisieren über die Tastatur der Handbedientafel wird das User-Programm eingeschaltet, bei dem maximal 8 × 32 Zeichen angezeigt werden können. Zur Kontrolle erscheint auf dem Bildschirm das Zeichen „>".

### *3.2. Bedienerprogramme*

#### 3.2.1. Programmieren

Nach dem Initialisieren der Steuerung wird das Bildschirmformat „Programmieren" (Bild 5, ohne Parameter) aktiviert. Zuerst wird die festgelegte Teilenummer dreistellig eingegeben. Danach wird der erste Schweißpunkt in der Reihenfolge

- dreistellige Punktnummer
- Befehl für die zentrale Steuerbaugruppe
  - . Information Programmanfang/-ende
  - . Schaltfunktionen für Schweißzange und Schweißteilaufnahme
  - . Schaltfunktion für Schweißsteuerung ELTROS II (Schweißen Ein/Aus, Schweißstromstärke)
- Befehle für Achssteuerbaugruppen
  - . Verfahrrichtung
  - . Verfahrgeschwindigkeit (vier Geschwindigkeitsstufen)
  - . Sollwerte (achsweise)

eingegeben. Die Programmierung des $n$-ten Schweißpunktes ($n > 1$) erfolgt in gleicher Weise. Zur Erleichterung der Programmierung wird die Punktnummer intern inkrementiert, die Teilenummer wird fix angezeigt. Sollen in einem Satz eine oder mehrere Achspositionen nicht verändert werden, so erfolgt durch zweimaliges Betätigen der Taste Abschlußzeichen „<" ein Überspringen. Außer durch das übersichtliche fixe Bildschirmformat wird die Bedienerführung durch den Curser unterstützt.
Wurde eine Zeile falsch programmiert (syntaktischer Fehler), so erscheint auf dem Bildschirm die Anzeige „ERROR" in kurzzeitigen Intervallen. Danach wird der entsprechende Satz ohne das fehlerhafte Wort wieder auf dem Bildschirm gezeigt.

#### 3.2.2. Abspeichern, Korrektur

Nach dem Programmieren eines Punktes ist ein probeweises Verfahren des Roboters bereits möglich. In Abhängigkeit von der Bereitschaft der Roboterperipherie (Rundteiltisch arretiert, Schweißteilaufnahme pneumatisch gespannt) wird der Satz an die Robotersteuerung über das programmierbare parallele Interface und die Verteilerkartenbaugruppen ausgegeben. Ein probeweises Verfahren ist jetzt möglich.
Rückmeldesignale (Koinzidenz, Bereitschaft des Rundschalttisches und der Schweißteilaufnahme) werden dabei ebenfalls über das PPI der ZRE zugeführt. Nach der Programmierung der gesamten Schweißbaugruppe und den notwendigen Probeläufen mit und ohne Werkzeugeingriff kann die Ausgabe des erzeugten Schweißprogramms auf das Kassettenmagnetband zum Zwecke der Archivierung erfolgen. Dabei bleibt auch nach dem Umladen das Programm im RAM-Arbeitsspeicher enthalten, bis es von einem neuen Programmiervorgang überschrieben wird.
Auf einer Magnetbandkassette können mehrere Schweißprogramme gespeichert werden. Soll der RAM-Arbeitsspeicher mit einem neuen Schweißprogramm geladen werden, kommt Programmart „Schweißprogrammsuchlauf" zur Anwendung. Damit nicht das gesamte Magnetband der Kassette abgesucht werden muß, sind am Anfang jeder Kassette die Schweißbaugruppennummern abgespeichert. Nach dem Auffinden des Schweißprogramms erfolgt die Übernahme in den RAM-Speicher. Der Roboter fährt den Referenzpunkt an und meldet Betriebsbereitschaft. Nach Start erfolgt die Ausgabe des ersten Satzes an die Robotersteuerung, die nunmehr analog der Diodenmatrix Satz um Satz ausliest und abarbeitet.
Die Programmart „Satzsuchlauf" ermöglicht eine Korrektur einzelner Sätze durch Überschreiben. Dazu ist das Schweißprogramm in den RAM-Arbeitsspeicher zu überspielen. Der Curser wird durch das mehrmalige Betätigen des Abschlußzeichens in die richtige Zeile (Wort) gebracht, danach kann die Zeile neu programmiert werden.

#### 3.2.3. Automatikbetrieb

Voraussetzung ist, daß im RAM-Arbeitsspeicher ein Schweißprogramm geladen worden ist. Nach Eingabe der Nummer der zu bearbeitenden Schweißbaugruppe (Programm-Nummer) und der Anzahl der zu schweißenden Baugruppen kann der automatische Ablauf des Schweißprogramms gestartet werden. Auf dem Bildschirm werden die Daten des in Bearbeitung befindlichen Schweißpunktes gezeigt. Im rechten oberen Feld des Bildschirms wird angezeigt, die wievielte Baugruppe des Loses in Bearbeitung ist. Ist eine Schweißbaugruppe fertig geschweißt, erscheint auf dem Bildschirm die Ausschrift „PROGRAMM BEENDET — BITTE NEUES TEILEPROGRAMM".

### *3.3. Bedienung peripherer Geräte*

Das Kassettenmagnetbandgerät daro 1250 wird steuerungsintern geschaltet (z. B. Programmsuchlauf, Rücksetzen).
Die Bedienung der zusätzlich anschließbaren Lochstreifenleser FS 313 oder FS 330 erfolgt mit dem Monitorprogramm über das Bedientableau nach Drücken der Tasten L und Abschlußzeichen. Bei Verwendung des Lesers daro 1210 erfolgt die Bedienung mit dem User-Programm. Hierbei sind die Tasten L, C und Abschlußzeichen zu betätigen. Daraufhin erfolgt das Einlesen des Lochstreifens. In gleichartiger einfacher Weise ist die Bedienung des ebenfalls anschließbaren Lochstreifenstanzers daro 1215 möglich. Damit wird eine den jeweiligen betrieblichen Gegebenheiten flexibel anpaßbare, sehr einfache Programmeingabe möglich.

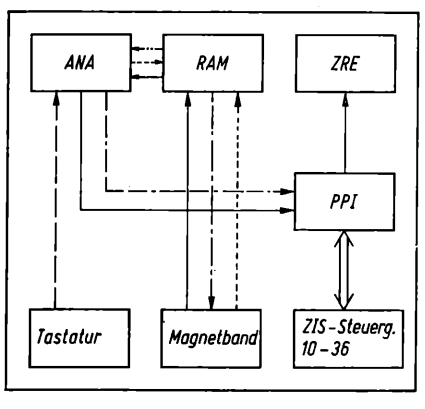



**Bild 7. Signalverarbeitungsstruktur**
— — Programmieren
—·— Programm auf Kassettenmagnetband speichern
------- Programm in Arbeitsspeicher laden
—·—·— Schreiben der Daten eines Schweißpunktes auf den Bildschirm
– – ·– – Ausgabe der Daten zur ZIS-Steuerung
—— automatische Programmausgabe

## 4. Ausbaufähigkeit des Teach-in-Moduls

Das Teach-in-Modul ist entsprechend der Projektierbarkeit des Schweißroboterbaukastens ZIS 995 einfach aufrüstbar für fünf oder sechs Achsen (Punktschweißen). Zur Anpassung an das technologische Problem Nahtschweißen ist eine relativ geringfügige Änderung der Software notwendig.
Sollen in einem Anwendungsfall relativ wenige Schweißprogramme zur Anwendung kommen, kann auf die Verwendung eines Kassettenmagnetbandgerätes verzichtet werden. Die Schweißprogramme sind dann in EPROMs abzulegen und

können somit zu jeder Zeit abgerufen werden. Dazu stehen im derzeitigen Ausbau des Teach-in-Moduls noch etwa 12k EPROM-Speicherkapazität auf der verwendeten Kartenbaugruppe PFS K 3820 zur Verfügung, da mit dem User-Programm nur etwa 4k Speicherkapazität belegt werden. Die Programmierung kann über das Teach-in-Modul durch Einstecken der Kartenbaugruppe Programmierzusatz K 0420 des VEB Kombinat Robotron und Nachladen der entsprechenden Programmiersoftware erfolgen. Das vom VEB Kombinat Robotron neu entwickelte Kassettenmagnetbandgerät K 5200 kann unter Hinzufügen der Kartenbaugruppe Anschlußsteuerung AKB K 5020 sowie des notwendigen Programmbausteines (im VEB Numerik „Karl Marx" in Vorbereitung) angeschlossen werden.
Besteht die Absicht, das Teach-in-Modul an eine andere Steuerung als die vom Zentralinstitut für Schweißtechnik entwickelte anzupassen, muß die Kartenbaugruppe Zwischenspeicher hardwaremäßig verändert werden. Weiterhin besteht ein Aufwand für die Anpassung des User-Programms (Eingriff in die Teach-in-Betriebssoftware sowie die Ausgaberoutine).


**Zusammenfassung**

Mit dem Teach-in-Modul entstand eine bedienerfreundliche Eingabesteuerung, die sehr einfach an vorhandene Robotersteuerungen anpaßbar ist. Der Hardware-Aufbau aus bekannten Funktionseinheiten bringt hinsichtlich Herstellung und Service zahlreiche Vorteile. Die wahlweise nutzbaren vielseitigen Möglichkeiten des Anschlusses peripherer Geräte erlauben eine flexible Kommunikation mit der Steuerung. Durch Aufrüsten der modularen Software besteht die Möglichkeit der Anpassung an zahlreiche Einsatzgebiete.
Die gesamten Unterlagen für das Teach-in-Modul können im VEB Numerik „Karl Marx" als Nachnutzung erworben werden.


**Literatur**


[1] *Göttert, W.; Ströfer, M.:* Steuerungen und Antriebe von Schweißrobotern aus Baueinheiten ZIS 995. ZIS-Mitteilungen **21** (1979) H. 11, S. 1217–1226.
[2] *Gallien, R.; Kretzschmar, H.:* Studie – Einsatz des Schweißroboters ZIS 10-70 zum Widerstandspunktschweißen von Karosserieteilen. ZIS-Mitteilungen **21** (1979) H. 11, S. 1227–1234.
[3] Beschreibung Robotersteuerung 10-36. ZIS Halle (unveröffentlicht).
[4] Bedienanleitung „Eingabesteuerung Punktschweißroboter". VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt (unveröffentlicht).
[5] Beschreibung Kassettenansteuerung für K 1520. TH Karl-Marx-Stadt, Sektion Informationstechnik.
[6] Bedienanleitung „MONITOR 600" des VEB Numerik „Karl Marx" Karl-Marx-Stadt (unveröffentlicht).
[7] Systemunterlagen „Mikrorechnersystem K 1520" des VEB Kombinat Robotron.


msr 7603


Prof. Dr. sc. oec. Dr. rer. nat. *L. Friedrich*, Wismar[1])


# Zur Abhängigkeit des Zeit- und Mengenverhaltens industrieller Ausrüstungen und spezieller Fertigungsprozesse von Zuverlässigkeitsanforderungen

IA 4.1.4.

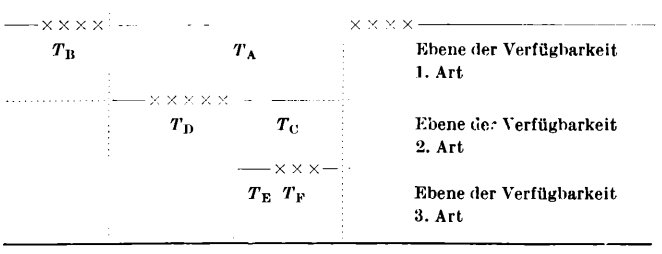
## 0. Einleitung

Die Zuverlässigkeit industrieller Ausrüstungen und spezieller Fertigungsprozesse hinsichtlich des Mengenverhaltens kann nach [1] durch die Zuverlässigkeitskennfunktion veranschaulicht und mittels eines Faltungsmodells berechnet werden. Die Zuverlässigkeitskennfunktion $R(t, m_t) = P\{M(t) > m_t\}$ ist als Wahrscheinlichkeit dafür definiert, daß die im Planzeitraum $(0, t]$ durchgeführte Anzahl von Bedienungen (z. B. die gefertigte Menge von Werkstücken) $M(t)$ größer als ein betrieblicher Planwert des Mengenverhaltens $m_t$ ist, $M(t)$ ist ein stochastischer Prozeß, und für fest gewählte $t = t_0$ ist $M(t_0)$ eine Zufallsgröße, deren Verteilungsfunktion durch das in [1] vorgestellte Faltungsmodell genau berechnet werden kann.
Einen sehr anschaulichen und mathematisch einfachen Zugang zur Bestimmung des Zeit- und Mengenverhaltens sowie der Zuverlässigkeit der Realisierung geplanter Zeit- und Mengengrößen industrieller Ausrüstungen und spezieller Fertigungsprozesse erhält man mit Hilfe des mathematischen Apparates der Erneuerungstheorie [2].
Bisher wurde die Abhängigkeit der Zuverlässigkeit vom Zeit- und Mengenverhalten untersucht; von wissenschaftlichem und besonders praktischem Interesse ist aber auch die Umkehrung dieser bisherigen Aufgabenstellung: die Untersuchung der Abhängigkeit des Zeit- und Mengenverhaltens von Zuverlässigkeitsanforderungen. Diese Untersuchung wird im folgenden mit dem mathematischen Apparat, wie er in [3] dargestellt ist, geführt. Grundlage sind die in [2] dargelegten Beziehungen, die aber eine wesentliche Detaillierung und Vertiefung erfahren. Diese Vertiefung ist das Resultat neuartiger Verfügbarkeitsbetrachtungen, in die u. a. auch die planmäßig vorbeugende Instandhaltung (PVI) einbezogen wird. Zur Intensivierung des Zeit- und Mengenverhaltens wird eine Verfügbarkeitsanalyse auf der Grundlage einer Näherungsformel für die Verfügbarkeitsvarianz vorgeschlagen und demonstriert.
Schließlich soll die Problematik der Festlegung ökonomisch effektiver Zuverlässigkeitsanforderungen — so zuverlässig wie ökonomisch notwendig und nicht wie möglich — einer vorläufigen Klärung zugeführt werden.

## 1. Verfügbarkeitsanalyse für industrielle Ausrüstungen und spezielle Fertigungsprozesse

Grundlage der Untersuchungen der Abhängigkeit des Zeit- und Mengenverhaltens von Zuverlässigkeitsanforderungen ist die Differenzierung der Dauerverfügbarkeit V nach den Verfügbarkeiten 1., 2. und 3. Art.
Unter Bezug auf die Begriffe „Prophylaktische Erneuerung" (PE) und „Havarieerneuerung" (HE) werden die folgenden 6

**Tafel 1. Demonstration der Zufallsgrößen $T_A$, $T_B$, ..., $T_F$ und der Verfügbarkeitsebenen**




[1]) Mitteilung aus der IH Wismar.

Zufallsgrößen eingeführt und in Tafel 1 hinsichtlich ihrer Zugehörigkeit zu den Verfügbarkeitsdifferenzierungen demonstriert:

$T_A$ Zufällige Länge der Arbeitsperiode zwischen zwei aufeinanderfolgenden PE ($ET_A = T_1$, $D^2T_A = s_1^2$)

$T_B$ Zufällige Länge der Zeit durch Durchführung einer PE (PVI-Maßnahme) ($ET_B = T_2$, $D^2T_B = s_2^2$)

$T_C$ Zufällige Länge der Arbeitsperiode zwischen zwei aufeinanderfolgenden HE ($ET_C = T_3$, $D^2T_C = s_3^2$)

$T_D$ Zufällige Länge der Zeit zur Durchführung einer HE (Reparaturmaßnahme außerhalb der PVI) ($ET_D = T_4$, $D^2T_D = s_4^2$)

$T_E$ Zufällige Länge der Arbeitsperiode zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen durch Abschaltung oder Blockierung (fehlende Bedienungsobjekte bzw. unzureichende Pufferung) ($ET_E = T_5$, $D^2T_E = s_5^2$)

$T_F$ Zufällige Länge der Abschalt- und Blockierungszeit ($ET_F = T_6$, $D^2T_F = s_6^2$).

Mit dieser Symbolik ergibt sich die Verfügbarkeit 1. Art $V_P$, die durch die PVI-Strategie bestimmt wird:

$$V_P = \frac{T_1}{T_1 + T_2}, \tag{1a}$$

die Verfügbarkeit 2. Art $V_A$, die die Auswirkungen der PVI-Strategie verdeutlicht:

$$V_A = \frac{T_3}{T_3 + T_4} \tag{1b}$$

und die Verfügbarkeit 3. Art $V_F$, die die Prozeßorganisation (Strom der zu bedienenden Objekte/Anforderungsstrom, Abtaktung, Pufferung) berücksichtigt:

$$V_F = \frac{T_5}{T_5 + T_6}. \tag{1c}$$

Im weiteren wird besonders mit den Variationskoeffizienten

$$v_i = \frac{s_i}{T_i}; \quad i = 1, 2, \ldots, 6 \tag{2}$$

gearbeitet.

Die Verfügbarkeit $V$ wird nun als Funktion der Zufallsgrößen $T_A, T_B, \ldots, T_F$ aufgefaßt, die ihrerseits $V_P$, $V_A$ und $V_F$ (über die $T_i$ und $s_i$ bzw. $v_i$, $i = 1, 2, \ldots, 6$) festlegen. Wie einfach mittels statistischer Abschätzungen ableitbar, gilt

$$EV = V_P V_A V_F = V \tag{3}$$

und

$$\begin{aligned} D^2V \approx V \{ & V_P(1 - V_P)^2 (v_1^2 + v_2^2) + \\ & + V_A(1 - V_A)^2 (v_3^2 + v_4^2) + \\ & + V_F (1 - V_F)^2 (v_5^2 + v_6^2)\} . \end{aligned} \tag{4}$$

Es ist offensichtlich, daß

- $D^2V$ gegen Null strebt, wenn die $V_P$, $V_A$ und $V_F$ gegen 1 streben
- $D^2V$ gegen Null strebt, wenn die $v_1$, $v_2$, $v_3$ gegen Null gehen, also die Varianzen bzw. Standardabweichungen verschwinden (Aufhören der Stochastik und Vorliegen „strenger" Determiniertheit).

Die Abschätzung der Verfügbarkeitsvarianz gemäß Gl. (4) liefert eine Vergrößerung der tatsächlichen Verfügbarkeitsvarianz, man liegt also mit Gl. (4) „auf der sicheren Seite", wie das bei Abschätzungen in der Zuverlässigkeitstheorie vielfach anzutreffen und auch zweckdienlich ist.

Man erkennt aus der Struktur der $D^2V$-Abschätzung gemäß Gl. (4) die drei Komponenten der Einflußnahme der PVI-Strategie und Durchführung, der PVI-Auswirkung und der Prozeßgestaltung. Eine besondere Forschungsproblematik, auf die hier lediglich hingewiesen werden soll, besteht in der Bestimmung der funktionellen Abhängigkeiten $T_3 = T_3(T_1)$ und $T_4 = T_4(T_1)$, die sich durch die PVI-Strategie und -Durchführung ergeben, die $T_3$- und $T_4$-Größen müssen eine solche Höhe erreichen, daß nach $T_1$-Veränderung eine größere Gesamtverfügbarkeit $V$ als bisher erzielt wird.

## 2. Erneuerungstheoretische Berechnungsgrundlagen

Einen Erneuerungsprozeß mit endlicher Erneuerungszeit kann man sich bei industriellen Ausrüstungen und speziellen Fertigungsprozessen — ohne zunächst auf die in Tafel 1 dargestellte Differenzierung einzugehen — als eine Folge von Arbeits- und Reparatur- bzw. Ausfallperioden vorstellen.

Die in $(0, t]$ auftretenden Arbeitsperioden haben identisch mit Erwartungswert $Z_1$ und Varianz $u_1^2$ verteilte Längen, die auftretenden Ausfallperioden haben identisch mit $Z_2$ und $u_2^2$ verteilte Längen. Die Gesamtarbeitszeit $A_t$ ist als Summe der Zeiten aller Arbeitsperioden bis zum Zeitpunkt $t$ definiert. Eine weitere Zufallsgröße, die kalendarische Lebensdauer der Ausrüstung bzw. des Prozesses $D_s$, bestimmt den zufälligen Zeitpunkt, in dem $A_t$ die Größe $s$ erreicht. Wichtig ist auch noch die Zufallsgröße $B_t$, die die Anzahl der bis zum Zeitpunkt $t$ eingetretenen Ausfälle angibt, $B_t$ hat den Erwartungswert $Z_0$ und die Varianz $u_0^2$.

Nach [3] sind $A_t$, $D_s$ und $B_t$ asymptotisch normalverteilt, es gelten folgende Beziehungen:

$$EA_t \approx \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} t, \tag{5a}$$

$$D^2A_t \approx \frac{Z_1^2 Z_2^2 \left[\frac{u_1^2}{Z_1} + \frac{u_2^2}{Z_2}\right]}{(Z_1 + Z_2)^3} \cdot t, \tag{5b}$$

$$ED_s \approx \frac{Z_1 + Z_2}{Z_1} t, \tag{6a}$$

$$D^2D_s \approx \left[\frac{u_1^2}{Z_1^2} + \frac{u_2^2}{Z_2^2}\right] \frac{Z_2^2}{Z_1} s, \tag{6b}$$

$$EB_t \approx \frac{t}{Z_0}, \tag{7a}$$

$$D^2B_t \approx \frac{u_0^2 t}{Z_0^3}. \tag{7b}$$

Setzt man für die Dauerverfügbarkeit $V = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2}$ und bildet man die Variationskoeffizienten $v_0 = \frac{u_0}{Z_0}$, $v_1 = \frac{u_1}{Z_1}$ und $v_2 = \frac{u_2}{Z_2}$, so ergibt sich eine bereits in [2] vorgestellte für die folgenden Untersuchungen günstige Schreibweise:

$$EA_t \approx Vt \tag{5c}$$

$$D^2A_t \approx V^2(1 - V)^2 (v_1^2 + v_2^2) (Z_1 + Z_2) t \tag{5d}$$

$$ED_s \approx \frac{s}{v} \tag{6c}$$

$$D^2D_s \approx (v_1^2 + v_2^2) \frac{1 - v}{V} Z_2 s \tag{6d}$$

$$EB_t = \mu t \tag{7c}$$

$$D^2B_t \approx \frac{v_0^2}{Z_0} t = v_0^2 EB_t = \mu t V_0^2. \tag{7d}$$

Wie in [2] bereits erläutert, lautet mit diesen Festlegungen die Zuverlässigkeitskennfunktion einer industriellen Ausrüstung hinsichtlich des Zeitverhaltens

$$\begin{aligned} R(t, s_t) &= R(A_t > a_t) = \\ &= P\left\{\frac{Vt - A_t}{(1 - v)\sqrt{(v_1^2 + v_2^2)\, VZ_1 t}} < z\right\} = R(z), \end{aligned} \tag{8}$$

wobei die Zuverlässigkeit für die Gewährleistung der Gesamtarbeitszeit $A_t$ in $(0, t]$ in einer geplanten Höhe $a_t$ aus der Tafel für die Ordinatenwerte der standardisierten Normalverteilung abzulesen ist. Ein Fallbeispiel möge die Anwendung von Gl. (8) verdeutlichen.

Für eine industrielle Ausrüstung seien $V = 0{,}8$, $v_1^2 = 0{,}3$, $v_2^2 = 0{,}5$ und $Z_1 = 200$ gegeben. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit dafür, daß im Zeitraum $(0, 10.000]$ die Gesamtarbeitszeit größer als 7.557 ist? Mit den angegebenen Daten ergibt sich aus Gl. (8):

$$R(10.000, 7.557) =$$

$$= P\left(\frac{0{,}8 \cdot 10.000 - 7.557}{0{,}2\sqrt{(0{,}3 + 0{,}5)\, 0{,}8 \cdot 200 \cdot 10.000)}} < z\right) =$$

$$= R\,(1{,}958)\,.$$

Aus der Tafel der standardisierten Normalverteilung liest man dazu den Wert 0,974888 ab, die zu ermittelnde Zuverlässigkeit beträgt damit etwa 0,975.

Nach [2] ergibt sich für Fertigungsprozesse mit Serien-Parallel-Struktur der Maschinenanordnung ($w_i$ im $i$-ten Arbeitsgang parallel arbeitende Maschinen, $n$ Arbeitsgänge, $V_i$ Dauerverfügbarkeit der Maschinen im $i$-ten Arbeitsgang, $v_{1i}$ bzw. $v_{2i}$ entsprechende Variationskoeffizienten, $Z_{1i}$ Erwartungswert der Länge einer Arbeitsperiode von Maschinen im $i$-ten Arbeitsgang) für die Zuverlässigkeitskennfunktion hinsichtlich des Zeitverhaltens:

$$R(t, a_t) =$$

$$= \prod_{i=1}^{n} \left\{1 - \left(1 - P\left\{\frac{V_i t - A_t}{(1 - V_i)\sqrt{(v_{1i}^2 + v_{2i}^2)\, V_i Z_{1i} t}} < z\right\}\right)^{w_i}\right\}. \tag{9}$$

Für die Zuverlässigkeitskennfunktion industrieller Ausrüstungen hinsichtlich des kalendarischen Verhaltens ergibt sich eine analog zu Gl. (8) handhabbare Beziehung:

$$R(s, d_s) = R(D_s > d_s) =$$

$$= P\left\{\frac{\frac{s}{V} - D_s}{\sqrt{\frac{1 - V}{V}(v_1^2 + v_2^2) Z_2 s}} < z'\right\} = R(z')\,. \tag{10}$$

### 3. Zur Umkehrung der Zuverlässigkeitskennfunktion unter Einbezug der verfügbarkeitsanalytischen Betrachtungen

Im folgenden werden Gleichungen für die Abhängigkeit des Zeit- und Mengenverhaltens industrieller Ausrüstungen und spezieller Fertigungsprozesse von Zuverlässigkeitsanforderungen (die quasi als unabhängige Variable fungieren) unter Berücksichtigung der in Abschnitt 1. vorgestellten verfügbarkeitsanalytischen Betrachtungen erarbeitet, dieser Abschnitt ist der Hauptabschnitt der vorliegenden Arbeit.

#### *3.1. Industrielle Ausrüstungen*

Neben dem stochastischen Prozeß der Gesamtarbeitszeit in $(0, t]$ $A_t$ wird noch der stochastische Prozeß der Gesamtzahl der Bedienungen in $(0, t]$ $M_t$ eingeführt, um neben dem Zeit- auch das Mengenverhalten behandeln zu können.

Es sei $X_t$ die zufällige Anzahl der Arbeitsperioden zwischen zwei PE innerhalb $(0, t]$ und $Y_{T_1}$ die zufällige Anzahl der Arbeitsperioden innerhalb $T_1$, die durch das Auftreten von HE entstehen. Weiterhin sei $R$ die Zuverlässigkeitsanforderung an das Zeit- und $R'$ die Zuverlässigkeitsanforderung an das Mengenverhalten.

Es gilt dann ganz allgemein:

$$R = P(A_t > a_t) = P(X_t > x_t)\, P(Y_{T_1} > y_{T_1})\, P(T_E > t_E) =$$
$$= R_1 R_2 R_3\,, \tag{11a}$$

wobei $R_1$, $R_2$ und $R_3$ die zu den einzelnen Faktoren gehörenden Zuverlässigkeiten bedeuten, selbstverständlich wäre z. B. $R_3 = R/R_1R_2$ zu setzen, um eben die vorgegebene Zuverlässigkeitsanforderung $R$ „einzuhalten".

Auf der Grundlage von $A_t$ kann die Zuverlässigkeitskennfunktion des Mengenverhaltens ganz allgemein wie folgt bestimmt werden:

$$R' = P(M_t > m_t) = P\left\{\frac{EM_t - M_t}{DM_t} < m_t\right\} = RR_4\,. \tag{12}$$

Mit Gl. (11a) erhält man auf Basis der Gln. (5c) und (5d) nach einer Reihe von Umrechnungen analog Gl. (8) für die Zuverlässigkeitskennfunktion hinsichtlich des Zeitverhaltens:

$$P(A_t > a_t) = P\left\{\frac{EX_t - X_t}{(1 - V_P)\sqrt{(v_1^2 + v_2^2)\, EX_t}} < x\right\} P\left\{\frac{EY_{T_1} - Y_{T_1}}{(1 - V_A)\sqrt{(v_3^2 + v_4^2)\, EY_{Z_1}}} < y\right\} \cdot P\left\{\frac{V_F T_3 - T_E}{(1 - V_F)\sqrt{(v_5^2 + v_6^2)\, V_F T_3 T_5}} < \tilde{t}\right\}, \tag{11b}$$

wobei hier

$$EX_t = \frac{t}{T_1 + T_2} = \bar{x}_t \tag{13a}$$

und

$$EY_{Z_1} = \frac{Z_1}{T_3 + T_4} = \bar{y}_t \tag{13b}$$

bedeuten.

Die Abhängigkeit des Zeitverhaltens industrieller Ausrüstungen von den Zuverlässigkeitsanforderungen läßt sich aus Gl. (11b) ableiten, wobei die auftretenden $u_{R_1}$, $u_{R_2}$ und $u_{R/R_1R_2}$ aus der Normalverteilungstafel abzulesen sind:

$$a_t(R, R_1, R_2) = [\bar{x}_t - u_{R_1}(1 - V_P)\sqrt{(v_1^2 + v_2^2)\, x_t}] \times$$
$$\times [y_{T_1} - u_{R_2}(1 - V_A)\sqrt{(v_3^2 + v_4^2)\, \bar{y}_{T_1}}] \times$$
$$\times [V_F T_3 - u_{R/R_1R_2}(1 - V_F)\sqrt{(v_5^2 + v_6^2)\, V_F T_3 T_5}]\,. \tag{14}$$

Die Abhängigkeit des Mengenverhaltens ergibt sich auf der Grundlage von $a_t(R, R_1R_2)$ und unter Berücksichtigung der Zufallsgröße $T_G$, die die zufällige Länge der Bedienungs- bzw. Bearbeitungszeit für eine Forderung angibt ($ET_G = T_7$ und $DT_G = s_7$; Variationskoeffizient $v_7$), zu

$$m_t(R') = \frac{a_t(R, R_1, R_2)}{T_7} - u_{R'/R}\, v_7 \sqrt{\frac{a_t(R, R_1, R_2)}{T_7}}\,. \tag{15}$$

Dabei werden unter Berücksichtigung der Gln. (7a) bis (7d) die Beziehungen

$$EM_t \approx \frac{a_t(R, R_1, R_2)}{T_7} \quad \text{und} \quad DM_t \approx v_7 \sqrt{EM_t} \tag{16}$$

verwendet.

Ein Fallbeispiel soll die Anwendung der Gln. (14) und (15) demonstrieren. Die Daten sind in Tafel 2 enthalten. Mit den Gln. (1a) bis (1c) folgt für die Verfügbarkeiten 1., 2. und 3. Art:

$$V_P = 0{,}9804, \quad V_A = 0{,}9375 \text{ und } V_F = 0{,}8333,$$

die Gesamtdauerverfügbarkeit beträgt nach (3): $V = 0{,}7659$. Nach Gl. (13a) folgt $x_t = x_{100.000} = 9{,}8$ (im Zeitraum $(0; 100.000]$ finden durchschnittlich 9,8 PE statt); nach Gl. (13b) ergibt sich $y_{Z_1} = y_{10.000} = 6{,}25$ (im Zeitraum $(0; 10.000$ finden durchschnittlich 6,25 HE statt bzw. zwischen zwei aufeinanderfolgenden PE liegen im Durchschnitt 6,25 HE).

Mit den $u$-Werten $u_{0,99} = 2{,}33$, $u_{0,98} = 2{,}06$ und $u_{0,9792} = 2{,}04$ ergibt sich $a_{100.000}(0{,}95;\ 0{,}99;\ 0{,}98) = 72.726{,}6$ Zeiteinheiten (bei streng determinierter Betrachtungsweise dagegen $V_{100.000} = 0{,}7659 \cdot 100.000 = 76.590$ Zeiteinheiten).

**Tafel 2. Daten des Fallbeispiels zur Erläuterung der Gln. (14) und (15)**

| Nr. $i$ | Zufallsgröße | Erwartungswert $T_i$ | Streuung $s_i$ | Variationskoeffizient $v_i$ |
|---|---|---|---|---|
| 1 | $T_A$ | 10.000 | 1.000 | 0,10 |
| 2 | $T_B$ | 200 | 50 | 0,25 |
| 3 | $T_C$ | 1.500 | 300 | 0,20 |
| 4 | $T_D$ | 100 | 15 | 0,15 |
| 5 | $T_E$ | 250 | 50 | 0,20 |
| 6 | $T_F$ | 50 | 5 | 0,10 |
| 7 | $T_G$ | 2,5 | 0,5 | 0,20 |

$t = 100.000$ Zeiteinheiten, $R = 0{,}95$, $R_1 = 0{,}99$, $R_2 = 0{,}98$,
$R' = 0{,}9405$, $R_4 = 0{,}99$, $R_3 = R/R_1R_2 = 0{,}9792$

Für das zugehörige Mengenverhalten folgt:

$$m_{100.000}(0{,}9405) = \frac{72726{,}6}{2{,}5} - 2{,}33 \cdot 0{,}2\sqrt{\frac{72726{,}6}{2{,}5}} = 29011$$

Bedienungen.

Realisiert man mit den Daten der Tafel 2 die Gl. (4) zur Varianzanalyse der Verfügbarkeit, so ergibt sich die folgende interessante Aufgliederung, die ihrerseits wieder ganz konkrete Hinweise zur Einschränkung der Verfügbarkeitsvarianz gestattet:

$$D^2V \approx (29 + 180 + 1122 + 631 + 7092 + 1773)\,10^{-7} =$$
$$= 0{,}0010827$$
$$(0{,}27 + 1{,}67 + 10{,}36 + 5{,}83 + 65{,}50 + 16{,}37)\% = 100\%$$

$T_A$ $T_B$ $T_C$ $T_D$ $T_E$ $T_F$

Ansatzpunkte für die Verbesserung des Zeitverhaltens durch Reduzierung der Varianzen

Um zu einer wirkungsvollen Verbesserung des Zeitverhaltens zu gelangen, müßten die Varianzen und z. T. auch die Erwartungswerte

- der Arbeitsperiodenlänge $T_E$ zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ausfällen der industriellen Ausrüstung durch Abschaltung oder Blockierung
- der Länge der Abschalt- und Blockierungszeit $T_F$
- der Arbeitsperiodenlänge zwischen zwei aufeinanderfolgenden HE $T_C$

reduziert bzw. erhöht ($ET_C$ und $ET_E$) werden.

Inhaltlich handelt es sich bei der Veränderung von $ET_E$ und $D^2T_E$ sowie $ET_F$ und $D^2T_F$ um bedienungsprozeßorientierte Effektivierungen, die durch Erhöhung der Kontinuität des Forderungsstromes und des „Abflusses" der bedienten Forderungen erreicht und durch ausreichend dimensionierte Pufferungsmöglichkeiten wirkungsvoll unterstützt werden können.

Eine signifikante Verbesserung des Zeit- und Mengenverhaltens bzw. eine signifikante Erhöhung der Zuverlässigkeit für die Gewährleistung geplanter Mengen- und Zeitverhalten kann nur über eine wesentliche Varianzreduzierung in allen Stufen der jeweils untersuchten Prozesse und insbesondere in den Stufen, die einen varianzanalytisch nachweisbaren hohen Beitrag zur Gesamtvarianz leisten, erreicht werden. Würde man folgende Veränderungen hinsichtlich der Zufallsgrößen $T_E$, $T_F$ und $T_C$ (gegenüber den Angaben der Tafel 2) durchführen

$T_5 = 300\ (250)$, $s_5 = 30\ (50)$, $v_5 = 0{,}1000\ (0{,}20)$

$T_6 = 20\ (50)$, $s_6 = 2\ (5)$, $v_6 = 0{,}1000\ (0{,}10)$

$T_3 = 1500\ (1500)$, $s_3 = 200\ (300)$, $v_3 = 0{,}1333\ (0{,}20)$,

dann ergäbe sich durch die starke Erhöhung von $V_F$ (von 0,8333 auf 0,9375) eine Verfügbarkeitserhöhung um 12,5% (von $V = 0{,}7659$ auf $V = 0{,}8631$). Die Verfügbarkeitsvarianz würde sich um 80% (von $D^2V = 0{,}001083$ zu $D^2V = 0{,}000214$) reduzieren. Bei gleichen Zuverlässigkeitsanforderungen würden sich Zeit- und Mengenverhalten um 15,8 bzw. 15,9% (von $a_{100.000}\,(0{,}95; 0{,}99; 0{,}98) = 72727$ auf $a_{100.000}(0{,}95; 0{,}99; 0{,}98) = 84201$ bzw. $m_{100.000}(0{,}9405) = 29011$ auf $m_{100.000}(0{,}9405) = 33629$) erhöhen.

Wichtig sind auch die folgenden Aussagen auf Grundlage der bedingten Zuverlässigkeitskennfunktion hinsichtlich des Zeitverhaltens:

$P\{A_{100.000} > 84201$ / Ausgangsbedingungen$\} \approx 0{,}00$

$P\{A_{100.000} > 84201$ / Bedingungen eingeschränkter Varianz usw.$\} = 0{,}95$.

Durch die Einschränkung der entsprechenden Varianzen und Veränderung bestimmter Mittelwerte kann mit einer Zuverlässigkeit von 95% ein über 84201 Zeiteinheiten liegendes Zeitverhalten garantiert werden; unter den Ausgangsbedingungen war die entsprechende Zuverlässigkeit tatsächlich 0%.

Nunmehr ergibt sich folgende Aufgliederung der Verfügbarkeitsvarianz:

$$D^2V \approx (32 + 203 + 567 + 708 + 315 + 315)\,10^{-8} = 0{,}000214$$
$$(1{,}5 + 9{,}5 + 26{,}5 + 33{,}1 + 14{,}7 + 14{,}7)\% = 100\%$$

$T_A$ $T_B$ $T_C$ $T_D$ $T_E$ $T_F$

Ansatzpunkte für die Verbesserung des Zeitverhaltens durch Reduzierung der Varianzen

Um zu einer weiteren wirkungsvollen Verbesserung des Zeitverhaltens zu kommen, die dann aber sicher mit hohen Aufwendungen verbunden sein würde, müßten die Varianzen und Erwartungswerte der Zufallsgrößen $T_C$ und $T_D$ verändert werden. Die allgemeinen Beziehungen (14), (15) und insbesondere auch (4) enthalten eine Reihe von Sonderfällen bzw. auch Kombinationen von Sonderfällen:

a) Deterministischer Fall:

Alle $s_i$ bzw. $v_i$ gleich Null; $i = 1, 2, \ldots, 7$.
Dann ergibt sich:

$$a_t = \bar{x}_t\bar{y}_t V_F T_3 = \frac{tT_1T_3T_5}{(T_1 + T_2)(T_3 + T_4)(T_5 + T_6)} =$$
$$= V_P V_A V_F t = Vt \qquad (17a)$$

und

$$m_t = \frac{a_t}{T_7} = \frac{T_1T_3T_5t}{T_7(T_1 + T_2)(T_3 + T_4)(T_5 + T_6)} =$$
$$= V_P V_A V_F \cdot \frac{t}{T_7} = \frac{Vt}{T_7} \qquad (17b)$$

b) PVI mit starrer Zyklenlänge:

$s_1 = 0$ bzw. $v_1 = 0$

c) PVI mit starrer Zyklenlänge und konstanten Instandhaltungszeiten:

$s_1 = 0$ bzw. $v_1 = 0$ und $s_2 = 0$ bzw. $v_2 = 0$

d) Konstante Bedienungszeiten:

$s_7 = 0$ bzw. $v_7 = 0$.

Auf die Angabe weiterer Kombinationen und ihren formelmäßigen Nachvollzug wird verzichtet; die entsprechenden Nullsetzungen lassen sich leicht in den Gln. (4), (14) und (15) vornehmen. Die zu erwartenden Effekte lassen sich anhand praktischer Berechnungen einfach ermitteln.

### *3.2. Spezielle Fertigungsprozesse*

Die Abhängigkeit des Zeitverhaltens von Fertigungsprozessen mit Serien-Parallel-Anordnung der Maschinen ($w_i$ leistungsiden-

tisch im $i$-ten Arbeitsgang parallel fertigende Maschinen; $i = 1, 2, \ldots, n$) läßt sich mit Gl. (14) wie folgt angeben, wobei zu beachten ist, daß

- die PVI auf den gesamten Prozeß und nicht unterschiedlich auf die einzelnen Arbeitsgänge bezogen ist, so daß $V_{Pi} = V_P$ und $v_{1i} = v_1$ sowie $v_{2i} = v_2$ für $i = 1, 2, \ldots, n$ ausfällt
- die HE vorgelagerter Arbeitsgänge sich als Abschaltzeiten in den nachgelagerten und die HE nachgelagerter Arbeitsgänge sich als Blockierungszeiten in den vorgelagerten Arbeitsgängen niederschlagen; diese Effekte können durch effektive Pufferlokalisierung und -dimensionierung vielfach ausreichend kompensiert werden, führen aber dazu, daß mit steigenden $i$ die $Z_{6i}$ tendenziell größer werden.

$$a_t^{FP}(R, R_1, R_2) \leqq \min_i \{w_i a'_{ti}(R, R_1, R_2)\};\ i = 1, 2, \ldots, n \quad (18a)$$

wobei

$$a'_{ti}(R, R_1, R_2) = \left(\bar{x}_t - u_{R_1}(1 - V_P)\sqrt{(v_1^2 + v_2^2)\,\bar{x}_t}\right)\left(\bar{y}_{T_{1i}} - U_{R_2}(1 - V_{Ai}) \cdot \sqrt{(v_{3i}^2 + v_{4i}^2)\,\bar{y}_{T_1}}\right) \times$$
$$\times \left(V_{Fi} T_{3i} - u_{R/R_1R_2}(1 - V_{Fi})\sqrt{(v_{5i}^2 + v_{6i}^2)\,V_{Fi} T_{3i} T_{5i}}\right) \quad (18b)$$

bedeutet.

Die Abhängigkeit des entsprechenden Mengenverhaltens von den Zuverlässigkeitsanforderungen ergibt sich gemäß Gl. (15) unter Berücksichtigung von Gl. (18b) zu

$$m_t^{FP}(R') \leqq \min_i \{w_i m'_{ti}(R')\}\ ;\quad i = 1, 2, \ldots, n\,, \quad (18c)$$

wobei

$$m'_{ti}(R') = \frac{a'_{ti}(R, R_1, R_2^i)}{T_{7i}} - u_{R'/R} v_{7i} \sqrt{\frac{a'_{ti}(R, R_1, R_2)}{T_{7i}}} \quad (18d)$$

bedeutet. Ein einfaches Fallbeispiel soll die Gln. (18a) bis (18d) verdeutlichen; die Daten sind in Tafel 3 enthalten. Mit den $a'_{ti}$- und den $m'_{ti}$-Werten aus Tafel 3 ergeben sich nach (18a) und (18c):

$$a_{100.000}^{FP}(0{,}95;\ 0{,}99;\ 0{,}98) \leqq \min\{175.138;\ 76.982;\ 218.180\} = 76.882$$

$$m_{100.000}^{FP}(0{,}9405) \leqq \min\{97.185;\ 76.688;\ 87.033\} = 76.688.$$

Im 1. Arbeitsgang stehen also 175.138, im 2. Arbeitsgang 76.882 und im 3. Arbeitsgang 218.180 Zeiteinheiten zur Fertigung zur Verfügung; fertigungszeitmäßig ist der 2. Arbeitsgang der Engpaßarbeitsgang. Im 1. Arbeitsgang können dagegen 97.185, im 2. Arbeitsgang 76.688 und im 3. Arbeitsgang 87.033 Teile gefertigt werden. Da ein Prozeß stets nur so leistungsfähig ist, wie sein Engpaß(arbeitsgang), so können also in (0; 100.000] höchstens 76.688 Teile gefertigt werden; der 2. Arbeitsgang ist also hinsichtlich des Mengenverhaltens gleichfalls Engpaßarbeitsgang.

**Tafel 3. Daten und Berechnungsgrößen des Fallbeispiels zur Erläuterung der Gln. (18a) bis (18d)**

| Prozeßdaten und Berechnungsgrößen | Arbeitsgang $i$ | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| $w_i$ | 2 | 1 | 3 |
| $T_1$ | | 10.000 | |
| $T_2$ | | 200 | |
| $T_{3i}$ | 2.000 | 1.300 | 1.500 |
| $T_{4i}$ | 120 | 80 | 100 |
| $T_{5i}$ | 400 | 220 | 250 |
| $T_{6i}$ | 20 | 30 | 50 |
| $s_1$ | | 1.000 | |
| $s_2$ | | 50 | |
| $s_{3i}$ | 350 | 280 | 300 |
| $s_{4i}$ | 22 | 20 | 15 |
| $s_{5i}$ | 35 | 60 | 50 |
| $s_{6i}$ | 4 | 6 | 5 |
| $T_{7i}$ | 1,8 | 1,0 | 2,5 |
| $s_{7i}$ | 0,2 | 0,3 | 0,5 |
| $v_1$ | | 0,1000 | |
| $v_2$ | | 0,2500 | |
| $v_{3i}$ | 0,1750 | 0,2154 | 0,2000 |
| $v_{4i}$ | 0,1833 | 0,2500 | 0,1500 |
| $v_{5i}$ | 0,0875 | 0,2727 | 0,2000 |
| $v_{6i}$ | 0,2000 | 0,2000 | 0,1000 |
| $v_{7i}$ | 0,1111 | 0,3000 | 0,2000 |
| $V_P$ | | 0,9804 | |
| $V_{Ai}$ | 0,9434 | 0,9420 | 0,9375 |
| $V_{Fi}$ | 0,9524 | 0,8800 | 0,8333 |
| $\bar{x}_t$ | | 9,80 | |
| $\bar{y}_{T_i}$ | 4,72 | 7,25 | 6,25 |
| $a'_{ti}$ | 87.569,1 | 76.882,0 | 72.726,6 |
| $m'_{ti}$ | 48.592,4 | 76.688,2 | 29.011 |

$t = 100.000$; $R = 0{,}95$; $R_1 = 0{,}99$; $R_2 = 0{,}98$; $R' = 0{,}9405$; $R_3 = R/R_1R_2 = 0{,}9792$; $R_4 = 0{,}99$

## 4. Einige spezielle Untersuchungen mit den Umkehrungsformeln

Auf der Grundlage der Daten der Tafel 3 können die Zuverlässigkeiten der Gewährleistung des Zeit- und Mengenverhaltens (76.882 Zeiteinheiten und 76.688 Teile) wie folgt ermittelt werden:

$$P(A_t > 76.882) =$$
$$= \left(1 - (1 - 0{,}95)^2\right)\left(1 - (0{,}95)^1\right)\left(1 - (1 - 0{,}95)^3\right) = 0{,}9475$$

$$P(M_t > 76.688) =$$
$$= \left(1 - (1 - 0{,}9405)^2\right) 0{,}9405 \left(1 - (1 - 0{,}9405)^3\right) = 0{,}9370.$$

Gleichfalls mit den Daten der Tafel 3 können auf der Grundlage der Gln. (18b) und (18d) die $a'_{ti}$ und die $m'_{ti}$ in hinsichtlich der $R$, $R'$, $R_1$, $R_2$ und $R_4$ freier Form aufgeschrieben werden ($a'_{ti} = a_t^{(i)}$; $m'_{ti} = m_t'^{(i)}$):

$$a'^{(1)}_{100.000}(R, R_1, R_2) =$$
$$= (9{,}8 - u_{R_1} 0{,}165)\,(4{,}72 - u_{R_2} 0{,}312)\,(1886{,}3 - u_{R/R_1R_2} 9{,}0684)$$

$$a'^{(2)}_{100.000}(R, R_1, R_2) =$$
$$= (9{,}8 - u_{R_1} - 0{,}0165)\,(7{,}25 - u_{R_2} 0{,}0515) \times$$
$$\times (1144{,}0 - u_{R/R_1R_2} 20{,}358)$$

$$a'^{(3)}_{100.000}(R, R_1, R_2) =$$
$$= (9{,}8 - u_{R_1} - 0{,}0165)\,(6{,}25 - u_{R_2} 0{,}0391) \times$$
$$\times (1250 - u_{R/R_1R_2} 20{,}837)$$

$$m'^{(1)}_{100.000}(R'/R, R_1, R_2) = 0{,}5556 a^{(1)}_{100.000} - 0{,}0828\, u_{R'/R} \sqrt{a'^{(1)}_{100.000}}$$

$$m'^{(2)}_{100.000}(R'/R, R_1, R_2) = a'^{(2)}_{100.000} - 0{,}3\, u_{R'/R} \sqrt{a'^{(2)}_{100.000}}$$

$$m'^{(3)}_{100.000}(R'/R, R_1, R_2) = 0{,}4\, a'^{(3)}_{100.000} - 0{,}0126\, u_{R'/R} \sqrt{a'^{(3)}_{100.000}}\,.$$

Die folgenden Betrachtungen werden mit dem 2. Arbeitsgang (dem Engpaßarbeitsgang) durchgeführt, der — da hier nur eine Maschine arbeitet — gleichzeitig im Sinne einer industriellen Ausrüstung aufgefaßt werden kann.

In Tafel 4 sind die $a'^{(2)}_{100.000}$- und die $m'^{(2)}_{100.000}$-Werte für unterschiedliche $R$, $R_1$, $R'$ und $R_2$ aufgeführt; die $R'/R$ und die $R/R_1R_2$ sind gleichfalls angegeben.

Aus den in Tafel 4 aufgeführten Resultaten lassen sich folgende Schlußfolgerungen ziehen:

- Die Erhöhung der Zuverlässigkeitsanforderungen $R$ und $R'$ reduzieren das Zeit- und Mengenverhalten
- Im Rahmen eines vorgegebenen $R$- bzw. $R'$-Niveaus hat die Aufgliederung $R_1$: $R_2$: $R_1/R_2$ einen wesentlichen Einfluß auf das Zeit- und Mengenverhalten

**Tafel 4. Das Zeit- und Mengenverhalten des Engpaßarbeitsganges in Abhängigkeit von unterschiedlichen Zuverlässigkeitsanforderungen**

| $R$ | $R'$ | $R'/R$ | $R_1$ | $R_2$ | $R/R_1R_2$ | $a'^{(2)}_{100.000}$ | $m'^{(2)}_{100.000}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,95 | 0,940 | 0,98947 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.688 |
| 0,95 | 0,935 | 0,98421 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.703 |
| 0,95 | 0,930 | 0,97895 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.713 |
| 0,95 | 0,925 | 0,97368 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.721 |
| 0,95 | 0,920 | 0,96842 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.727 |
| 0,95 | 0,915 | 0,96316 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.733 |
| 0,95 | 0,910 | 0,95789 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.736 |
| 0,95 | 0,900 | 0,94737 | 0,99 | 0,98 | 0,97918 | 76.882 | 76.747 |
| 0,95 | 0,940 | 0,98947 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.418 |
| 0,95 | 0,935 | 0,98421 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.431 |
| 0,95 | 0,930 | 0,97895 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.441 |
| 0,95 | 0,925 | 0,97368 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.449 |
| 0,95 | 0 920 | 0,96842 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.456 |
| 0,95 | 0,915 | 0,96316 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.461 |
| 0,95 | 0,910 | 0,95789 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.467 |
| 0,95 | 0,900 | 0,94737 | 0,99 | 0,97 | 0,98927 | 76.610 | 76.476 |
| 0,95 | 0,940 | 0,98947 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.023 |
| 0,95 | 0,935 | 0,98421 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.036 |
| 0,95 | 0,930 | 0,97895 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.046 |
| 0,95 | 0,925 | 0,97368 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.053 |
| 0,95 | 0,920 | 0,96842 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.060 |
| 0,95 | 0,915 | 0,96316 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.066 |
| 0,95 | 0,910 | 0,95789 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.071 |
| 0,95 | 0,900 | 0,94737 | 0,99 | 0,96 | 0,99958 | 75.213 | 75.080 |
| 0,99 | 0,97957 | 0,98947 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.439 |
| 0,99 | 0,97437 | 0,98412 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.452 |
| 0,99 | 0,96916 | 0,97895 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.461 |
| 0,99 | 0,96394 | 0,97368 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.469 |
| 0,99 | 0,95874 | 0,96842 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.476 |
| 0,99 | 0,95353 | 0,96316 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.481 |
| 0,99 | 0,94831 | 0,95789 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.487 |
| 0,99 | 0,93790 | 0,94737 | 0,99865 | 0,9953 | 0,99598 | 75.629 | 75.495 |

— Die Aufgliederung der speziellen Zuverlässigkeitsanforderungen zur Erreichung eines erforderlichen $R$- bzw. $R'$-Niveaus sollte nach ökonomischen Gesichtspunkten und nach der planerischen Beherrschbarkeit (PVI, Pufferung usw.) erfolgen.

Aus Tafel 4 ist ersichtlich, daß z. B. die Erhöhung der Zuverlässigkeitsanforderungen an die Prozeßorganisation „auf Kosten" der Reduzierung der Zuverlässigkeitsanforderung an die PVI-Auswirkungen, die ohnehin planerisch schwer beherrschbar sind, eine das Zeit- und Mengenverhalten im $R = 0{,}95$-Bereich beträchtlich senkende Auswirkung hat. Weiterhin erkennt man, daß die Erhöhung der Zuverlässigkeitsanforderung an das Mengenverhalten von $R' = 0{,}94$ auf $R' = 0{,}97957$ mit einer Reduzierung des Mengenverhaltens von 76.688 − 75.439 = 1.229 Teilen verbunden ist. Je zuverlässiger man ein bestimmtes geplantes Mengenverhalten realisieren will, desto geringer muß eben diese Mengenplanung angesetzt werden, um das Unterschreitungsrisiko niedrig zu halten.

Betrachtet man im Fallbeispiel des Abschnittes 3.1. die Erhöhung des Mengenverhaltens um 33.629 = 29.011 = 4.518 Teile, die aus der Einschränkung entsprechender Varianzen und der Vergrößerung bestimmter Erwartungswerte resultiert, dann ist selbstverständlich dieser Mehrproduktion der Mehraufwand zur Varianzeinschränkung und Erwartungsveränderung gegenüber zu stellen — der Mehraufwand ist nur gerechtfertigt, wenn der ökonomische Effekt der Mehrproduktion in einem angemessenen Zeitraum größer als der Mehraufwand ist.

## 5. Allgemeine Betrachtungen und Schlußfolgerungen

Im Bild 1 wird eine prinzipielle Darstellung der Zuverlässigkeitskennfunktionen (in der Dichteversion) hinsichtlich des Zeitverhaltens für die zufälligen Prozesse $A_t$ (Gesamtarbeitszeit in $(0, t]$) und $D_s$ (zufälliger Zeitpunkt, in dem $A_t$ die Größe $s$ erreicht) gegeben. Es wird ersichtlich, daß mit sinkender Verfügbarkeitsvarianz und ausreichend weit von 1 entfernt liegender Verfügbarkeit Normalität herrscht. Je mehr aber die Dauerverfügbarkeit gegen 1 strebt, desto mehr wird von der Normalität abgewichen. Es entstehen stark rechtssteile ($A_t$) bzw. stark linkssteile ($D_s$) Verteilungsdichten, diese Tendenz prägt sich um so stärker aus, je größer die Verfügbarkeitsvarianz $D^2V$ ausfällt.

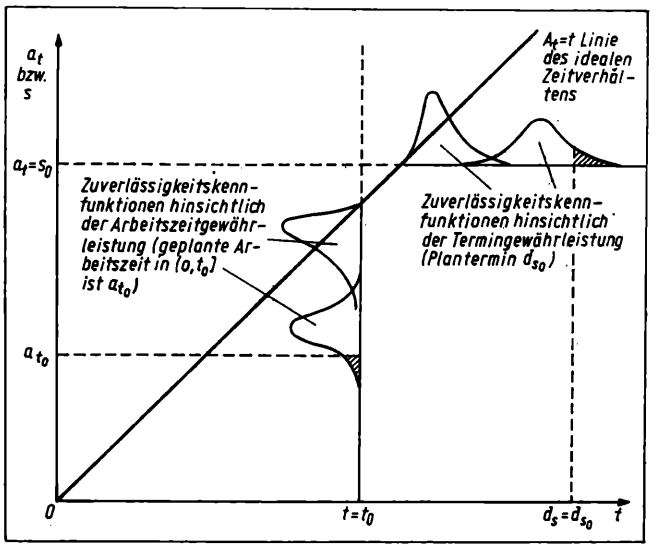



**Bild 1. Prinzipdarstellung von Zuverlässigkeitskennfunktionen der zufälligen Prozesse $A_t$ und $D_s$**

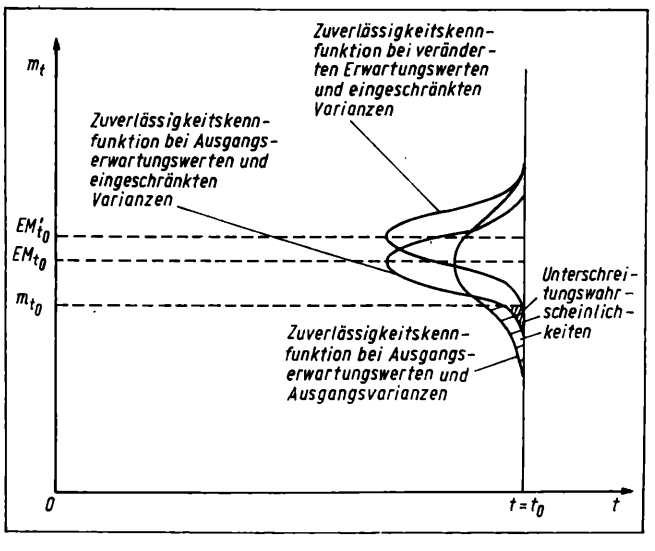
Die prinzipielle Darstellung Bild 2 soll die Zusammenhänge zwischen Mengenverhalten und Zuverlässigkeitsanforderungen verdeutlichen, es werden die Zuverlässigkeitskennfunktionen für

— Ausgangserwartungswerte und Ausgangsvarianzen
— Ausgangserwartungswerte und eingeschränkte Varianzen
— veränderte Erwartungswerte und eingeschränkte Varianzen

gegenübergestellt und an ihnen bestimmte Zuverlässigkeitsanforderungen anhand der Unterschreitungswahrscheinlichkeiten diskutiert. Um die wesentlichen Gesichtspunkte klarer hervortreten zu lassen, erfolgt der Bezug auf industrielle Ausrüstungen.

Im Zusammenhang mit der Problematik der eingeschränkten Varianzen muß darauf verwiesen werden, daß die Gewährleistung geplanter Mengen- und Zeitverhalten mit hoher Zuverlässigkeit davon abhängt, inwieweit es gelingt, Varianzen in allen Stufen einzuschränken — die „Visitenkarte" jedes Pro-

**Bild 2. Prinzipdarstellung der Zusammenhänge zwischen Mengenverhalten und Zuverlässigkeitsanforderungen (bzw. Unterschreitungswahrscheinlichkeiten) bei industriellen Ausrüstungen**



zesses ist seine Varianz, vom Menschen beherrschte Prozesse haben eben kleine Varianzen, die wiederum die Voraussetzung für jede Prozeßautomatisierung darstellen.

Bild 2 verdeutlicht, daß mit steigenden Zuverlässigkeitsanforderungen — das entspricht sinkenden Unterschreitungswahrscheinlichkeiten — das geplante Mengenverhalten $m_t$ bezogen auf das jeweils mögliche Mengenverhalten (siehe die drei unterschiedlichen Zuverlässigkeitskennfunktionendichten im Bild 2) reduziert wird. Die ständig abnehmenden Unterschreitungswahrscheinlichkeiten sind im Bild 2 schraffiert bzw. ausgezogen worden. Soll das geplante gleiche Mengenverhalten mit erhöhten Zuverlässigkeitsanforderungen garantiert werden, so ist das nur erreichbar durch Einschränkung der Varianzen, Veränderung der Mittelwerte oder eine Kombination von Mittelwertsveränderung und Varianzeinschränkung.

Hinsichtlich der Einschränkung der Ausgangsvarianzen und der Veränderung der Ausgangsmittelwerte können folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- PVI mit starren Zyklen und konstanter Instandhaltungszeit ($s_1 = 0$ und $s_2 = 0$) führt zu einer beträchtlichen Reduzierung der Verfügbarkeitsvarianz und dadurch zu einer bedeutenden Erhöhung der Zuverlässigkeit (PVI: Plan- und Beherrschbarkeitsaspekt!).
- Bei der Einschränkung von $T_2$ auf $T_2'$ und der Erhöhung von $T_1$ auf $T_1'$
  muß

$$\frac{T_1}{T_1 + T_2} \cdot \frac{T_3(T_1)}{T_3(T_1) + T_4(T_1)} < \frac{T_1'}{T_1' + T_2'} \cdot \frac{T_3(T_1')}{T_3(T_1') + T_4(T_1')}$$

  gelten, damit ein Verfügbarkeitsanstieg erreicht wird und keine Minderung des Mengenverhaltens eintritt.
- Besonders wichtig ist die ökonomisch effektive Pufferlokalsierung und -dimensionierung, die zu einer Erhöhung von $T_5$ und zu einer Senkung von $T_6$ führt; damit wird gleichzeitig $V_F$ vergrößert.
- Besondere Bedeutung hat auch die Einhaltung der zeitlichen Bearbeitungsnormen (z. B. der Stückzeiten $t_S$ bei Fertigungsprozessen) — also Einhaltung von $T_7$ bei möglichst kleiner Standardabweichung $s_7$.

Bezüglich der Zuverlässigkeitsanforderungen für die Gewährleistung eines geplanten Zeit- und Mengenverhaltens (hierbei wirken die Zuverlässigkeitsanforderungen über die $u_{R_1}$, $u_{R_2}$, $u_{R/R_1R_2}$ und $u_{R'/R}$ quasi als unabhängige Veränderliche auf die abhängigen Veränderlichen $a_t$ bzw. $m_t$) ist von dem Grundsatz auszugehen „So zuverlässig, wie ökonomisch effektiv und nicht so zuverlässig wie möglich", da überhöhte Zuverlässigkeitsanforderungen ungerechtfertigte Planreduzierungen (um kein Risiko einzugehen) nach sich ziehen würden.

**Literatur**


[1] *Grün, M.:* Das Mengenverhalten der Fließfertigung und die Bestimmung der effektiven Pufferung zur Erhöhung der Zuverlässigkeit und Stabilität. Dissertation A, Ingenieurhochschule Wismar 1979.

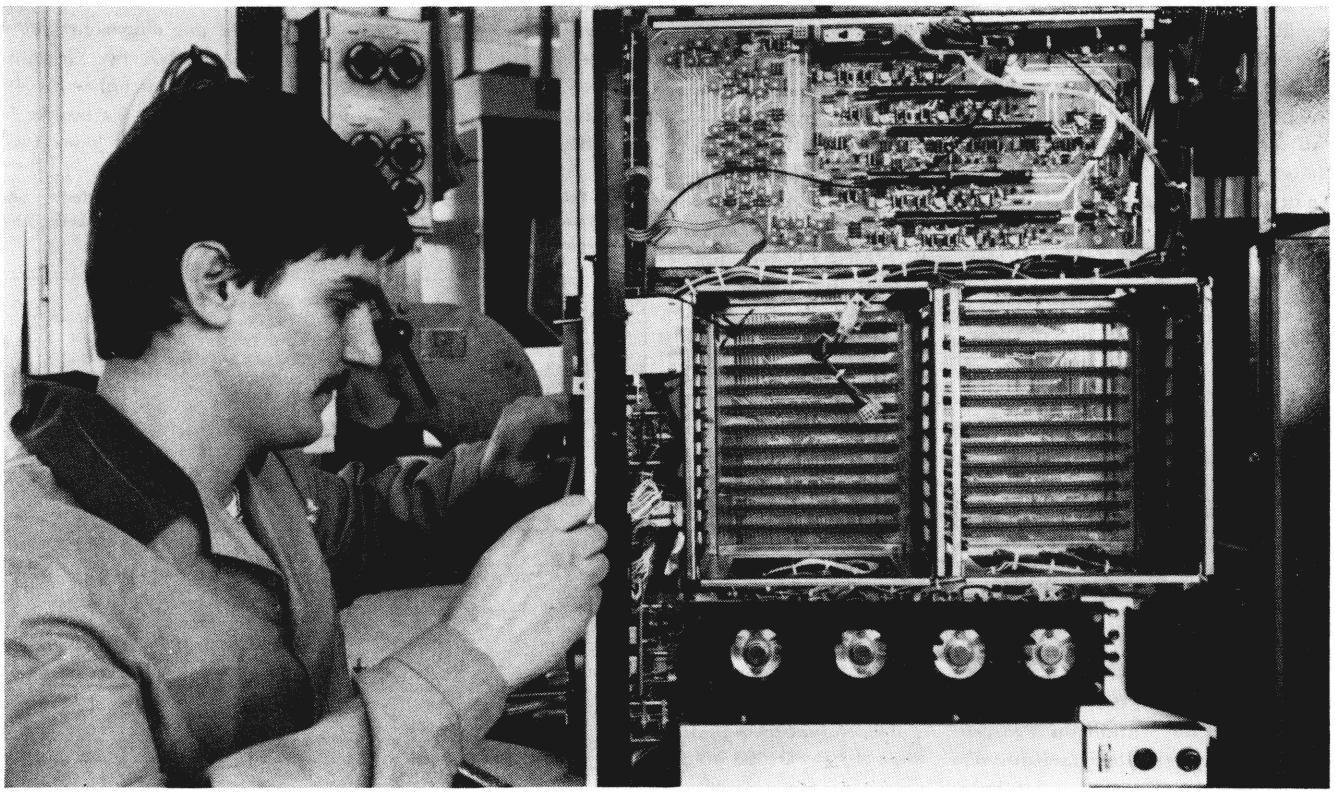
[2] *Friedrich, L.:* Grenzen der Bedienungs- und Stärken der Erneuerungstheorie bei der Bestimmung des Leistungsverhaltens und der Zuverlässigkeit industrieller Ausrüstungen und Prozesse. Hebezeuge und Fördermittel **22** (1982) H. 1, S. 14–17 und H. 2, S. 56–60.

[3] *Gnedenko, B. W.; Beljajew, J. K.; Solowjew, A. D.:* Mathematische Methoden der Zuverlässigkeitstheorie. Berlin: Akademie-Verlag 1968.


msr 7607

---

**Die ungarischen GAMMA-Werke stellen komplette Isotopen-Labors und Meßgeräte für die medizinische Diagnostik her. Die Produktion dieser Ausrüstungen, die in viele Länder exportiert werden, konnte während der letzten 15 Jahre auf das 10fache gesteigert werden. Das modernste Produkt ist eine Datenverarbeitungseinrichtung mit Farbdisplay, die es ermöglicht, im menschlichen Organismus ablaufende, durch Isotopen markierte Prozesse direkt zu beobachten und zu verfolgen. Das Bild zeigt die Montage des Elektronik-Teils.** Foto: ADN-ZB



Ing. Ing. *H. Kloust*, Berlin[1])

# Kennzeichnungen in Automatisierungsanlagen

IA 6.5.

## 0. Einleitung

Mit der Einführung neuer elektronischer Bauelemente und Geräte der Automatisierungstechnik sowie der Anwendung neuer Beschriftungsverfahren wurden die Pflichten zur Kennzeichnung bestimmter Betriebsmittel oder deren Teile auch für Automatisierungsanlagen präzisiert oder erweitert und führten zu einer Überarbeitung von TGl 32991/21 [1]. Um den neuesten Stand notwendiger Kennzeichnungen in Automatisierungsanlagen darzustellen, sollen die wichtigsten Vorschriften und deren Festlegungen vorgestellt werden.

## 1. Allgemeines

In Erfüllung der Forderungen des Gesundheits-, Arbeits- und Brandschutzes (GAB) legt [1] fest, daß eine einheitliche Kennzeichnung der kompletten Automatisierungsanlagen bzw. deren Teile so vorgenommen werden muß, daß ein ordnungsgemäßes Bedienen und Instandhalten der Anlagen sowie die Einhaltung der dafür geltenden Vorschriften gewährleistet ist. Welche Betriebsmittel, z. B. Baugruppen, Geräte, Einrichtungen, Kabel, Leitungen, Verteiler und Anschlußstellen, und in welchem Umfang diese zu kennzeichnen sind, z. B. durch Einzel-, Gruppen- oder Koordinationskennzeichnungen, sowie die Orte, an denen eine Kennzeichnung angebracht werden soll, sind in der Anlagendokumentation festzulegen. Diese Angaben werden üblicherweise im Erläuterungsbericht, in den Zeichnungsunterlagen oder im Schutzgütenachweis getroffen. Kennzeichnungen können je nach dem Verwendungszweck, z. B. auf Schildern, Schiebebildern, Klebefolien oder als separate Beschriftungen, auf den Betriebsmitteln oder Baukörpern angebracht werden. Sie müssen in jedem Fall mit den Kurzbezeichnungen in den Schaltplänen und weiteren Fertigungsunterlagen übereinstimmen, sind deutlich sichtbar und dauerhaft anzubringen und müssen auch nach dem Entfernen von Abdeckungen erhalten bleiben.

Die Forderung nach Kennzeichnungen in Automatisierungsanlagen besteht hauptsächlich für die nachfolgend beschriebenen Bereiche:

- allgemeine Sicherheitsfarben und -zeichen zur Einhaltung des GAB
- Bedien- und Anzeigeelemente in Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse
- Bauteile und Geräte
- elektrische Betriebsmittel in eigensicheren Anlagen
- schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel
- elektrische Kabel und Leitungen
- elektrische Leiter und Anschlüsse (allgemein)
- Schutzleiter, Potentialausgleichsleiter, Erdungsleiter und deren Anschlußstellen

sowie für weitere spezielle Einsatzgebiete, z. B.

- spezielle fabrikfertige Baueinheiten
- System ursamat, Standard-Interface für analoge Funktionseinheiten
- Be- und Verarbeitungsmaschinen
- Elektroenergie-Erzeugungs- und Verteilungsanlagen.

## 2. Sicherheitsfarben und -zeichen

Die grundsätzlichen Festlegungen zu Sicherheitsfarben und -zeichen, auch für elektrotechnische Anlagen und Automatisierungsanlagen gültig, sind im Standard TGL 30817 [2] enthalten. Danach bedeuten die Farben:

- Rot: Verbot, Halt

  Es sind damit Notschalteinrichtungen, betriebsmäßig zu öffnende Gehäuse, die bewegliche Maschinenelemente verkleiden, Einrichtungen zur Brandbekämpfung und Signallampen, die einen Gefahrenzustand anzeigen, zu kennzeichnen.

- Gelb: Warnung, Achtung, Gefahr

  Mit dieser Farbe bzw. mit Gelbschwarz-Schraffur sind alle sicherheitstechnischen Mittel, die räumlich und/oder zeitlich nicht zwangsläufig vor Gefährdungen abschirmen sollen, z. B. in den Arbeitsbereich ragende Bauteile, Podeste, Laderampen, Absperrflächen, zu kennzeichnen.

- Grün: Gebot, Sicherheit

  Diese Farbe ist nur zur Kennzeichnung von Notausgängen, Wegweisern und als Frei- oder Fahrtzeichen vorzusehen.

- Blau: Hinweis

  Sie ist für Hinweiszeichen einzusetzen.

Die Anwendung der Sicherheitsfarben für Bedien- und Anzeigeelemente allgemein und in Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse sind in TGL 13097 [3] und TGL 12468 [4] festgelegt und wurden bereits in [5] beschrieben.

[1]) Mitteilung aus dem Institut für Elektroanlagen (IEA) des VEB Kombinat Automatisierungsanlagenbau Berlin.

**Tafel 1. Systematik der Kurzbezeichnung**

| | |
|---|---|
| =<br>≠<br>+<br>–<br>: | } Bestimmungssymbole zur Kurzbezeichnung |

Die Kurzbezeichnung besteht für

(A) aus einem oder mehreren Buchstaben (wobei der erste Buchstabe nach Tafel 2 standardisiert ist)
N aus einer Zahl mit einer oder mehreren Ziffern
NANA aus einer beliebigen Kombination und Reihenfolge von Zahlen und Buchstaben oder nur Zahlen bzw. Buchstaben

| Bezeichnung der Ebenen | | | | | | Bezeichnung des Bauelementes, Bauteiles, Gerätes, der Baugruppen | | | Bezeichnung der Anschlußstelle | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. Ebene | | 2. Ebene | | 3. Ebene | | Art | Nummer | Funktion | | |
| = | NANA | ≠ | NANA | + | NANA | – (A) | N | NANA | : | siehe Abschn. 4 |
| empfohlen | | | | | | verbindlich | | empfohlen | | Anwendung |

Tafel 2. Bezeichnung der Art des Bauelementes und -teiles/Gerätes

| Kodebuchstaben | Art | Anwendungsbeispiele |
|---|---|---|
| A | Baugruppen | Einschübe, Steckkarten, Leitgeräte für Regler, Baugruppen, die eine konstruktive Einheit bilden und keinem anderen Kodebuchstaben zugeordnet werden können |
| B | Umsetzer (allgemein) | Thermofühler, fotoelektrische Elemente, Drehmelder, Meßumformer, Arten von Gebern, LE-Dioden |
| C | Kondensatoren | alle Arten von Kondensatoren und Schwingquarze |
| D | binäre Elemente, Verzögerungs-, Speichereinrichtungen | Zeitstufen, Kern-, Magnetbandspeicher, Kippstufen, logische Elemente und Schaltkreise, digitale Regler und Rechner |
| E | Verschiedenes | Beleuchtungs-, Heizeinrichtungen, elektrische Regler, Einrichtungen, die in dieser Tafel nicht spezifiziert sind |
| F | Schutzvorrichtungen | Sicherungen, Ableiter, Überstrom-, Über- und Unterspannungsauslöser, Schutzrelais |
| G | Generatoren, Versorgungsenergieeinrichtungen | Drehstromgeneratoren, Frequenzumformer, Batterien, Gleich-, Wechselrichter, Netzgeräte |
| H | Signaleinrichtungen | optische und akustische Signaleinrichtungen, Melder, LCD/LED-Anzeigen |
| K | Relais, Schütze | Schutz-, Hilfs-, Zeitrelais bzw. -schütz |
| L | Induktivitäten | Induktions-, Drosselspulen, Leitungssperren |
| M | Motore | alle Arten von Motoren |
| N | analoge Elemente, Verstärker, Regler | integrierte Schaltkreise mit analogen Funktionen, Analog-Regler und -Rechner, Verstärker, Wandler |
| P | Meß- und Prüfeinrichtungen | Anzeige-, Registrier- und Prüfeinrichtungen, Uhren, Zähler |
| Q | Leistungsschalteinrichtungen | alle Arten von Leistungsschaltern, Trennern, Lastschaltern |
| R | Widerstände | alle Arten von Widerständen, Thermistoren, Varistoren |
| S | Schalter, Wähler | Befehls-, Steuer-, End-, Wahlschalter, Taster, Wähler, Funktionstasten |
| T | Transformatoren | Leistungs-, Steuertransformatoren, Strom- und Spannungswandler, Transduktoren, Übertrager |
| U | Modulatoren, Umsetzer für elektrische Größen | Demodulatoren, Kodiereinrichtungen, Inverter, Frequenzumsetzer, Fernwirkgeräte, Opto-Koppler |
| V | Halbleiter, Röhren | alle Arten von Transistoren, Dioden, Thyristoren, Röhren |
| W | Übertragungswege | Dipole, Antennen, Lichtleiter, Richtungskoppler |
| X | Anschluß- und Steckverbindungen | alle Arten von Trenn-, Steck-, Klemmverbindungen, Stecker, Steckdosen, Anschlußleisten |
| Y | elektrisch betätigte mechanische Einrichtungen | Bremsen, Kupplungen, pneumatische oder magnetische Ventile, Stelleinrichtungen, Magnete |
| Z | Anschlüsse, Filter, Entzerrer, Begrenzer | Leitungsnachbildungen, Art von Filtern |
| J, O | Verwendung nicht zulässig | – |

Wichtige und auch in Automatisierungsanlagen verwendete Warnschilder, die bisher in TGL 200-01080 [6] enthalten waren, sind jetzt in TGL 29978 [26] neu geregelt, z. B. für die möglichen Gefährdungen

- „Elektrotechnische Einrichtungen, nicht berühren" mit den Schildern A3 und/oder C4
- „Hochspannung, Vorsicht! Lebensgefahr" mit dem Schild C4
- „Vorsicht, Rückspannung" mit der Schilderkombination C4/E9
- „Reparatur, nicht schalten" mit dem Schild E15
- „Vor Berühren entladen, erden und kurzschließen" mit der Schilderkombination C4/E6

Tafel 3. Kennbuchstaben für Prozeßgrößen und Funktionen nach TGL 14091/01

| Kennbuchstabe | Prozeßgröße | | Funktion |
|---|---|---|---|
| | gemessener oder gesteuerter Parameter | Parameter-Modifizierung | |
| A | – | – | Signalisierung, Alarm |
| B | – | – | optische Binäranzeige mit Ja-/Nein-Aussage |
| C | – | – | Regelung |
| D | Dichte | Differenz | – |
| E | elektrische Größen | – | Meßfühler |
| F | Durchfluß (Volumen, Masse) | Verhältnis | – |
| G | Abstand, Stellung, Länge | – | – |
| H | Handeinstellung, -eingriff | – | – |
| I | – | – | Anzeige (analog oder digital) |
| J | – | – | – |
| K | Zeit, Programm | – | – |
| L | Füllstand, Standhöhe | – | – |
| M | Feuchte (absolut, relativ) | – | – |
| N, O | Reserve | – | – |
| P | Druck, Vakuum | – | – |
| Q | Qualität (Analyse, Konzentration, pH-Wert, Leitfähigkeit) | Gesamtsumme, Dosierung | Integrierung, Zählung |
| R | Radioaktivität | – | Registrierung |
| S | Geschwindigkeit, Frequenz | – | Schaltfunktion |
| T | Temperatur | – | Umformung, Signalübertragung |
| U | zusammengesetzte Größen | – | – |
| V | Viskosität | – | Stellfunktion |
| W | Kraft, Masse | – | – |
| X | sonstige Prozeßgrößen | – | sonstige Funktionen |
| Y | Steuerung (allgemein) | – | – |
| Z | – | – | Noteingriff, Verblockung |

- „Vorsicht, Prüfung mit Hochspannung" mit der Schilderkombination C4/E11
- allgemeiner Blitzpfeil mit dem Schild C4.

Der in [26] festgelegte und in TGL 15414 [7] mit den Farben schwarz bzw. rot gekennzeichnete und maßlich präzisierte Blitzpfeil ist auch in Baueinheiten von Automatisierungsanlagen zu verwenden. Mit ihm sind bedingt abschaltbare Stromkreise, d. h. jene Teile der Baueinheiten zu kennzeichnen, die nach dem Abschalten der Gesamtbaueinheit durch in dieser befindliche Schalteinrichtungen noch Spannungen über 42 V führen können. Er ist nach [26] in einem dreieckigen Warnschild bzw. dem z. Z. noch als Ausnahme im Anlagenbau verwendeten rechteckigen Zusatzschild anzuordnen.

### 3. Kennzeichnungen von Bauteilen und Geräten

Für die allgemeine Kennzeichnung von Bauteilen und Geräten innerhalb von Anlagen, z. B. in Feldern und Schränken, ist, falls erforderlich, durch [1] der Standard über die Kurzbezeichnungen der Schaltpläne der Elektrotechnik TGL 16082 [8] auch für Automatisierungsanlagen verbindlich. Damit wird eine bisher schon oft praktizierte einheitliche Kennzeichnung für den Anlagenbau erreicht. Nach [8] gilt somit die Systematik gemäß Tafel 1, die ganz oder teilweise auch zur Kennzeichnung von Bauteilen oder Geräten dienen kann. Für den Teil der direkten Kennzeichnung der Bauteile und Geräte sind die Kodebuchstaben nach Tafel 2 auszuwählen und, falls erforderlich, kann eine weitere, nicht standardisierte und in der Anlagen-

dokumentation festgelegte Bezeichnung für die allgemeine Funktion hinzugefügt werden.

Sollen zur weiteren Verbesserung der Übersicht in Automatisierungsanlagen MSR-Stellen oder die Zugehörigkeit von Geräten oder Einrichtungen zu diesen, z. B. Registrierinstrumente in der Warte, Regler, Meß- oder Stellglieder vor Ort an der technologischen Anlage, z. B. auf (außerhalb von) Feldern, Schränken oder Pulten, separat kenntlich gemacht werden, müssen in dieser Kennzeichnung mindestens die Prozeßgrößenbuchstaben gemäß Tafel 3 und die MSR-Stellennummern nach TGL 14091/01 [9] und [25] enthalten sein. Als MSR-Stelle kann die Gesamtheit aller Geräte und Einrichtungen (Bauglieder) und deren Verbindungen für die Realisierung von MSR-Funktionen vom Bereich der Erfassung, Verarbeitung bis hin zur Ausgabe der Informationen definiert werden. In Fließbilddarstellungen, z. B. in Blind-, Leucht- und Leuchtschaltbildern von Warten, sind die Symbole nach [9] zu verwenden. Abweichungen sind nur bei ökonomisch und volkswirtschaftlich zu begründenden wichtigen Fällen zulässig. Von den vorgeschriebenen Proportionen und Linienbreiten nach [9] kann ohne Einschränkung abgewichen werden.

Für in elektrotechnischen Anlagen eingesetzte schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel sind zusätzlich spezielle genehmigungspflichtige Kennzeichnungen nach TGL 19491/11 [10] vorzusehen. So sind diese in folgender Reihenfolge auf den Betriebsmitteln eingegossen, eingeprägt oder auf Schildern anzubringen:

- Schlagwetter- und/oder Explosionsschutzzeichen nach TGL 19464/01 [11] mit (Sch); (Ex)
- Schutzarten: Kurzzeichen

| | |
|---|---|
| . Druckfeste Kapselung | d |
| . Erhöhte Sicherheit | e |
| . Ölkapselung | o |
| . Fremdbelüftung | f |
| . Fremdluftüberdruck | fü |
| . Eigensicherheit | i |
| . Sonderschutz | s |
| . Partikelzünddurchschlagsicherheit | dz |
| . Sandkapselung ohne Abschirmung | q |
| . Sandkapselung mit Abschirmung | qa |

- Kennziffern der Explosionsklassen (I bis IIc), der Zündgruppen (T1 bis T6) und der Zündwilligkeitsgruppen (I bis IIc) nach TGL 30020/01 [12].

**Kennzeichnungsbeispiel für Automatisierungsanlagen**

a) Schlagwettergeschützt ——(Sch) (Ex) $i_a$ I
Explosionsgeschützt
Schutzart Eigensicherheit, Kategorie
Zündwilligkeitsgruppe

b) Zündwilligkeitsgruppe
Schutzart Eigensicherheit, Kategorie
Teilweise explosionsgeschützt
Steuerkreis (Exp) $i_c$ IIB
Höchstzulässige Kapazität $C_L \leqq C$ (in µF) $L_a < L$ (in mH)
des Außenstromkreises
Höchstzulässige Induktivität
des Außenstromkreises

Für die Schutzart Eigensicherheit sind nach [10] weitere Angaben erforderlich, z. B.:

- Kennzeichnung der Klemmen für die Außenkreise der eigensicheren Stromkreise
- Kennzeichnung durch Schilder für externe Stromquellen im Anschlußraum mit den Angaben: Speisespannung, Stromart, Frequenz bzw. bei den passiven Zwei- oder Mehrpolen die im störspannungssicheren Stromkreis wirksamen Induktivitäten und Kapazitäten
- zusätzliche Betriebskenndaten, wie maximale Eingangs- und Ausgangsspannung, zulässige Induktivität der Eingangskreise und Kennzeichnung der Klemmen oder Steckverbindungen.

Nach TGL 200-0621 [13] sind innerhalb der gesamten eigensicheren Anlagen

- die Leiterisolation an den Klemmstellen und Leiterverbindungen
- die Außenmäntel von Kabeln und Leitungen an ihren Enden und in angemessenen Abständen, mindestens alle 10 m
- die Verteilerkästen, Betriebsmittel, Steckverbinder und Abdeckungen

im Farbton Hellblau, bei Anstrichstoffen im Farbton Lichtblau, Farbnummer 1729, nach TGL 2196 mit mindestens 1 cm breiten Streifen zu kennzeichnen. Sie darf bei Außernmänteln von Kabeln und Leitungen entfallen, wenn die Legung auf gesonderten Kabelpritschen oder -bahnen erfolgt und diese in o. g. Abständen mit o. g. Farbanstrich versehen werden.

Die in allen explosionsgefährdeten Arbeitsstätten für elektrotechnische Anlagen einzusetzenden Gefahrenschalter sind nach [13] in auffallender Form und mit der Farbe Rot zu kennzeichnen.

Zur Einhaltung der nach TGL 200-0602/03 [24] geforderten Schutzmaßnahmen für elektrotechnische Anlagen sind bei Anwendung der Schutzklasse (SKL) II (Schutzisolierung) bzw. III (Schutzkleinspannung) nach TGL 21366 weiterhin auf den eingesetzten Betriebsmitteln die Anbringung der Zeichen:

— für die SKL II verbindlich vorgeschrieben

— für die SKL III zur Anwendung empfohlen.

**Tafel 4. Spezielle Anschlußbezeichnungen**

| | Anschluß für | alphanumerische Bezeichnung | Schaltzeichen nach [15] bis [17] |
|---|---|---|---|
| Wechselstromsystem | 1. Außenleiter<br>2. Außenleiter<br>3. Außenleiter<br>Neutralleiter ohne Schutzleiterfunktion | U oder A<br>V oder B<br>W oder C<br>N | ohne |
| Gleichstromsystem | positiver Außenleiter<br>negativer Außenleiter | vorzugsweise aus der 1. Hälfte des Alphabets | +<br>− |
| | Mittelleiter ohne Schutzleiterfunktion | M | ohne |
| beliebiges System | Schutzleiter, geerdet | PE | |
| | Schutzleiter, geerdet, mit Neutral- oder Mittelleiterfunktion (Nulleiter) | PEN | ohne |
| | Schutzleiter, ungeerdet | PU | |
| | Potentialausgleichsleitung | PA | |
| | Erdungsleitung | E | |
| | störungsfreie Erdungsleitung | TE | |

**Tafel 5. Spezielle Leiterbezeichnungen**

| | Leiter | alphanumerische Bezeichnung | Farbbezeichnung | Schaltzeichen nach [15] bis [17] |
|---|---|---|---|---|
| Wechselstromsystem | 1. Außenleiter | L1 | Gelb | ohne |
| | 2. Außenleiter | L2 | Grün | |
| | 3. Außenleiter | L3 | Violett | |
| | indifferenter Leiter | L | Orange | |
| | Neutralleiter ohne Schutzleiterfunktion | N | Hellblau | |
| Gleichstromsystem | positiver Leiter | L+ | Rot | |
| | negativer Leiter | L− | Blau | |
| | indifferenter Leiter | L | Orange | |
| | Mittelleiter ohne Schutzleiterfunktion | M | Hellblau | |
| beliebiges System | Schutzleiter, geerdet | PE | Grün/Gelb | wie Tafel 4 |
| | Schutzleiter, geerdet, mit Neutral- oder Mittelleiterfunktion (Nulleiter) | PEN | | |
| | Schutzleiter, ungeerdet | PU | | |
| | Potentialausgleichsleitung | PA | | |
| | störungsfreie Erdungsleitung | TE | | |
| | Erdungsleitung | E | Grün/Gelb oder Schwarz | |

## 4. Weitere Kennzeichnungen elektrischer Leiter, Leitungen und Kabel

Grundlage der international abgestimmten elektrischen Anschluß- und Leiterbezeichnungen von Bauteilen, Geräten, Teilanlagen und Anlagen bilden die untereinander kombinierbaren Bezeichnungsmethoden:

- alphanumerisches Bezeichnungssystem
  Dieses System nach TGL 16021 [14] ist bevorzugt anzuwenden, und es legt die Anwendung von
  . einem oder mehreren großen lateinischen Buchstaben (außer den Buchstaben 0, I) und/oder
  . einer oder mehrerer arabischer Ziffern und/oder
  . dem Zeichen + (Plus) und/oder − (Minus)
  fest.
- spezielle grafische Symbole nach [14], TGL 16005 [15], TGL 16007 [16] und TGL 7783 [17]
- spezielle Farbkodes der Kabelindustrie bzw. Farbkennzeichnungen für Leiterbezeichnungen nach TGL 200-0601/02 [18] und [19].

Beispiele zur Anwendung spezieller Anschluß- und Leiterbezeichnungen, die auch für Automatisierungsanlagen gültig sind, siehe Tafeln 4 und 5.

Die in Tafel 5 aufgeführte Farbkennzeichnung der Gleich- und Wechselstromsysteme ist lediglich für nicht isolierte Leiter nach [19] anwendbar. Sie kann dann in unterbrochener Weise entlang des Leiters oder an den Anschlußstellen bzw. bei Einhaltung technischer oder sicherheitstechnischer Maßnahmen auch auf der gesamten Länge der Schienen erfolgen. Die Kennzeichnung kann entfallen bei:

- Außen- und Neutralleiter, wenn diese während des Betriebs der Anlage nicht sichtbar sind
- Schutzleiter, Erdungs- und Potentialausgleichsleitungen, wenn durch die Ausführung und Legung Verwechselungen mit betriebsmäßig stromführenden Leitern ausgeschlossen sind

sowie bei allen Leitern, bei denen die notwendigen technischen und sicherheitstechnischen Maßnahmen nach [19] eingehalten werden.

Für isolierte Leiter, außer den in Abschn. 4. und Tafeln 4 und 5 genannten Schutz-, Erdungs- und Potentialausgleichsleitungen, bestehen dagegen keine weiteren allgemeinen Kennzeichnungspflichten. Ausnahmen für spezielle Anlagenarten sind festgelegt, z. B. in

- TGL 22500/04 [20]

  Danach gelten besonders festgelegte Kennzeichnungen und Zählnummern für Anschlußstellen, Kabel und Leitungen für Geräte und Einrichtungen des Systems ursamat.

- TGL 14111 [21]

  In den elektrotechnischen Schaltanlagen der Energieversorgung sind die eingesetzten Klemmleisten mit Klemmennummern und die Leitungsenden mit Leitungsbezeichnungshülsen zu versehen.

- TGL 200-0655/02 [22]

  Auch bei den Be- und Verarbeitungsmaschinen soll eine Kennzeichnung der Leitungsenden auf befestigten Ringmanschetten, Hülsen oder Klebebändern in Übereinstimmung mit den Festlegungen der technischen Dokumentation erfolgen.

Neben den Kennzeichnungen o. g. Leiter wird für Automatisierungsanlagen auch eine weitere Kennzeichnung für Kabel und Leitungen nach [1] und TGL 200-0560 [23] notwendig. Danach werden diese mit Kabelbezeichnungsbändern in folgenden Farben versehen:

- braune Bänder für den Informationserfassungs-, -verarbeitungs- und -übertragungsteil
- blaue Bänder für den Versorgungsenergieteil.

### Zusammenfassung

Mit der Einführung neuer Bauelemente der Automatisierungstechnik und zur Erfüllung bestehender Forderungen des GAB-Schutzes wurde der bestehende Stand notwendiger standardisierter Kennzeichnungen in Automatisierungsanlagen ermittelt und festgestellt, daß einheitliche Kennzeichnungen für komplette Automatisierungsanlagen zur Steuerung technologischer Prozesse in Übereinstimmung mit den Festlegungen der technischen Dokumentation und bestehender Standards erfolgen muß, um diese Anlagen rationell fertigen zu können. Lediglich für spezielle Anlagen und Einrichtungen sollten besondere, zusätzlich technologisch bedingte Kennzeichnungen zugelassen werden.

### Literatur

[1] TGL 32991/21: Automatisierungsanlagen; Kennzeichnung. Ausgabe Oktober 1981.
[2] TGL 30817: Gesundheits- und Arbeitsschutz, Brandschutz; Sicherheitszeichen; Allgemeine Festlegungen. Ausgabe Januar 1976.
[3] TGL 13097: Taster und Leuchtmelder; Funktionsbezogene Kennzeichnung von Bedien- und Anzeigeelementen. Ausgabe Januar 1978.
[4] TGL 12468: Anfahr- und Signalordnung für Anlagen zentralgesteuerter technologischer Prozesse. Ausgabe August 1979.
[5] *Kloust, H.*: Standardisierte Festlegungen über einheitliche Signal- und Anfahrordnungen in Automatisierungsanlagen. msr 24 (1981) H. 3, S. 166 und 167.
[6] TGL 200-1080: Elektrotechnische Anlagen; Warnschilder; Starkstromanlagen. Ausgabe September 1967.
[7] TGL 15414: Elektrotechnik; Blitzpfeile. Ausgabe April 1981.
[8] TGL 16082: Schaltpläne der Elektrotechnik; Kurzbezeichnungen; Kodebuchstaben für die Bezeichnung von Bauelementen und Bauteilen/Geräten. Ausgabe Dezember 1981.
[9] TGL 14091/01: ESKD; Symbole der MSR-Technik; Darstellung von MSR-Stellen. Ausgabe April 1981.
[10] TGL 19491/11: Schlagwetter- und explosionsgeschützte elektrische Betriebsmittel; Kennzeichnung. Ausgabe Mai 1977.
[11] TGL 19464/01: Schlagwetterschutzzeichen, Explosionsschutzzeichen, Explosivstoffschutzzeichen; Zeichen. Ausgabe März 1965.
[12] TGL 30020/01: Gesundheits- und Arbeitsschutz; Brandschutz; Explosionstechnische Kennzahlen brennbarer Gase und Dämpfe; Bestimmung der Explosionsbereiche und Explosionsdrücke. Ausgabe Januar 1971.
[13] TGL 200-0621: Elektrotechnische Anlagen in explosionsgefährdeten Arbeitsstätten. Ausgabe Januar 1978.
[14] TGL 16091: ESKD des RGW; Bezeichnung elektrischer Anschlüsse und Leiter. Ausgabe September 1979.

(Fortsetzung auf Seite 582 unten)

# Industrierobotersteuerungen 2



### *1.3. Grundstruktur einer IR-Steuerung*

Die aus den Grundaufgaben abgeleiteten Funktionsgruppen (vgl. Abschn. 1.2.) werden hierarchisch in unterschiedliche Steuerebenen eingeordnet (Bild 1.4) [1.1].

Die **Zentralsteuerung (Leitrechner)** ist immer dann erforderlich, wenn mehrere Industrieroboter zusammenarbeiten und ihre Bewegungen und Aktionen koordiniert werden müssen. Sie stellt in der Regel eine eigenständige Einheit mit einem zentralen Terminal dar, von der aus eine komplette Fertigungszelle überwacht und gesteuert wird. Der Leitrechner kommuniziert über Datenschnittstellen mit den einzelnen Robotersteuerungen der Zelle und gibt insbesondere vor, welches Programm wann abzuarbeiten ist.

Die anderen im Bild 1.4 dargestellten Steuerebenen sind in die eigentliche IR-Steuerung integriert.

Die **Programmsteuerung** sorgt für die Abarbeitung des Roboterprogramms. Bei Bewegungs- und Aktionsbefehlen aktiviert sie die **Funktionssteuerung,** in der die Bewegungs- und Aktionssteuerung zusammengefaßt sind (vgl. Abschn. 1.2.). Die letzte Stellebene, die **Effektorsteuerung,** besteht im wesentlichen aus den Leistungsverstärkern für die Antriebe und andere Stell- und Schaltglieder, die auf Grundgerät und Peripherie einwirken. Wesentlich für die einwandfreie Funktion des Steuerungssystems sind Rückmeldungen vom Grundgerät oder von der Peripherie. Davon sind im Bild 1.4 die wesentlichen eingezeichnet, die entweder auf die Funktionssteuerung (z. B. Positionsistwerte, Fertigmeldungen) oder in die Programmsteuerung

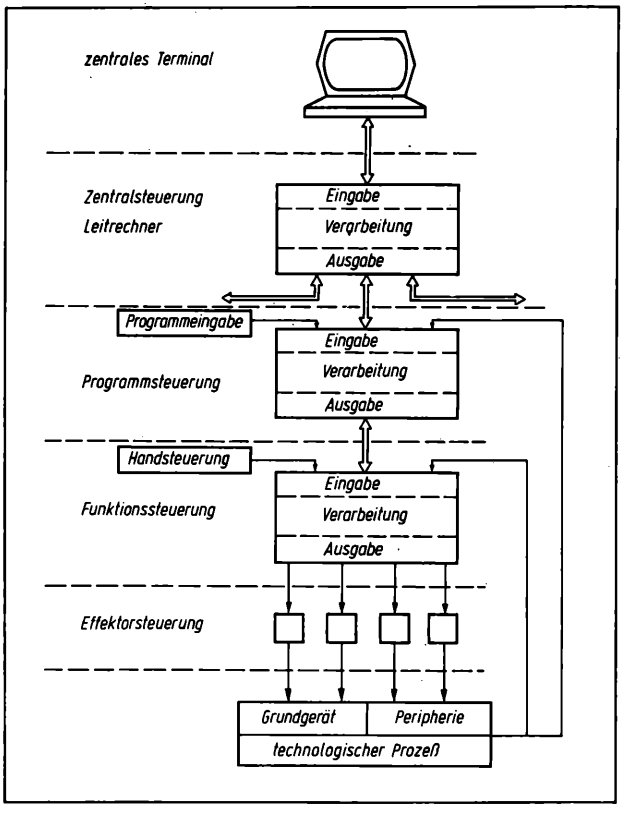



**Bild 1.4. Hierarchische Struktur einer Robotersteuerung (nach [1.1])**

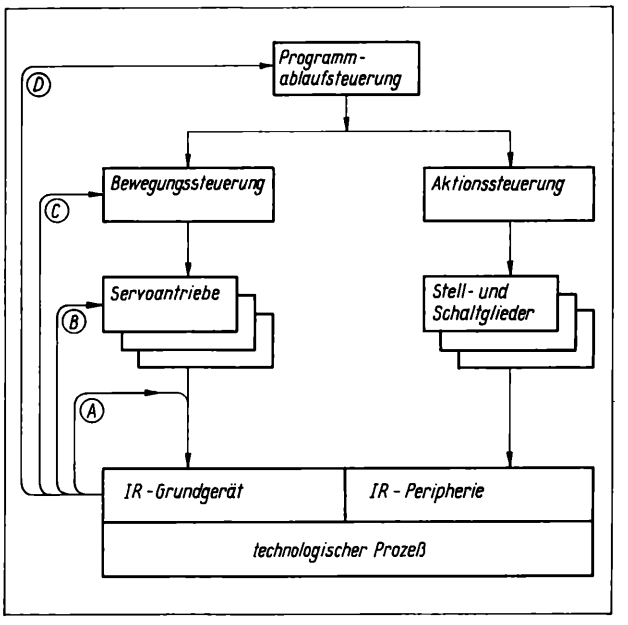



**Bild 1.5. Funktionssteuerung in einem IR-Steuerungssystem (nach [1.4])**

(Signale, die Bedingungen für den Programmablauf darstellen) zurückwirken. Funktions- und Programmablaufsteuerung sollen nachfolgend genauer behandelt werden.

#### 1.3.1. Funktionssteuerung

Die Funktionssteuerung realisiert die zweite und die dritte der im Abschn. 1.2. aufgezählten fünf Grundaufgaben. Sie ist der Programmablaufsteuerung hierarchisch untergeordnet und enthält prinzipiell zwei Wirkungslinien:

- Der Geometrieblock (Bewegungssteuerung — Bild 1.5 links) wertet die Bewegungsbefehle des Roboterprogrammes aus und steuert in Abhängigkeit davon die Antriebe der einzelnen Achsen an. Bei einfachen Handhabegeräten mit Punkt-zu-Punkt-Steuerung schaltet er in Abhängigkeit von dem vorgegebenen Endpunkt und den Endschaltersignalen die Achsantriebe ein bzw. aus, bei Industrierobotern mit Bahnsteuerung besteht er im Prinzip aus einem Bahnkurvenrechner (Interpolator), der in Echtzeit die Weg-Zeit-Verläufe der geforderten Bewegung ermittelt und als Sollwerte an die Lageregelung ausgibt. Bei hochwertigen Steuerungen kommt noch ein Funktionsblock für die Koordinatenwandlung hinzu. In der Geometriesteuerung konzentriert sich in der Regel die numerische Verarbeitung des IR-Steuerungssystems.
- Der Technologieblock (Aktionssteuerung — Bild 1.5 rechts) wertet die Aktionsbefehle des Roboterprogramms aus und steuert in Abhängigkeit davon die technologischen Aktionen des Roboters und der Peripherie über entsprechende Effektoren. Da die Aktionsbefehle eines Roboters in der Mehrzahl zweiwertige Wirkungen hervorrufen (Beispiele: Greifer auf — zu, Farbstrahl ein — aus, Rundtisch weiterschalten) und auch die zu ihrer Überwachung eingesetzten Sensoren (gegenwärtig noch) überwiegend binäre Signale abgeben, herrscht in der Aktionssteuerung die nichtnumerische (binäre) Verarbeitung vor. Beispiele für numerische Steue-

rungsprobleme in dieser Wirkungslinie sind die Regelung des Schweißstromes bei Lichtbogenschweißrobotern und die Regelung der Intensität des Farbstrahles bei Farbspritzrobotern entsprechend den numerischen Vorgaben im Roboterprogramm.

Der Grad der in der Funktionssteuerung installierten künstlichen Intelligenz zeigt sich in der Adaptivität des Roboters, d. h. in seiner Fähigkeit, auf Situationsänderungen in der technologischen Umwelt zu reagieren. Erreicht wird dies durch Informationsrückführungen auf verschiedenen Verarbeitungsniveaus. Im Bild 1.5 sind ganz links einige Möglichkeiten solcher Rückführungen angegeben. In Richtung zunehmender Adaptivität sind zu unterscheiden:

(A) Rückführungen ohne Verarbeitung in der Steuerung. Sie werden durch geeignet nachgebende mechanische Konstruktionselemente erreicht. Ein typisches Beispiel ist das RCC-Glied (RCC — Remote Centre of Compliance), ein mechanischer Fügekopf, der das Verklemmen beim Fügen von Bolzen in Bohrungen durch Verlagerung des Momentanpoles der Drehbewegung mit Hilfe nachgiebiger Elemente vermeidet und in der Montage Einsatz findet.

(B) Rückführungen auf der Ebene der Servoantriebe. Damit sind quantitative Korrekturen der Bewegungsbahn in Abhängigkeit von Sensorsignalen möglich. Das wird im einfachsten Fall durch Aufschaltung von Korrekturwerten auf die Sollwerte für die Lageregelung realisiert. Ein typischer Anwendungsfall sind Bahnkorrekturen beim Lichtbogenschweißen, wenn durch die Schweißteiltoleranzen die zu schweißende Naht von der einprogrammierten Bahn abweicht und diese Abweichung durch ein Nachführsystem mit Näherungssensor ausgeglichen wird.

(C) Rückführungen auf der Ebene der Geometriesteuerung. Hier können qualitative Bahnänderungen ausgeführt werden. Dazu werden in der Regel Bahnelemente, die nicht im Programm vorgesehen waren, selbsttätig in die programmierte Bewegungsbahn eingefügt. Ein typischer Anwendungsfall ist das automatische Umfahren von Hindernissen nach deren Erkennung durch geeignete Sensorsysteme. Auch die programmtechnische Einschränkung des Arbeitsbereiches von Industrierobotern läßt sich funktionell hier einordnen. Sie erfolgt dadurch, daß die programmierte Bahn ständig darauf überprüft wird, ob sie die Grenzen des einprogrammierten Bewegungsfreiraumes überschreitet und in Abhängigkeit von dieser Prüfung als zulässig erkannt und durchfahren oder durch eine andere Bewegungsbahn an den Freiraumgrenzen ersetzt wird.

(D) Rückführung auf der Ebene der Programmsteuerung. Sie gestattet eine selbständige Bewegungs- und Aktionsplanung auf der Basis einer komplexen Erfassung des Zustandes der technologischen Roboter-Umwelt, die mit einem in der Steuerung programmierten Umwelt-Modell verglichen wird. Roboter mit solchen Steuerungen gestatten eine zielorientierte Programmierung (im Unterschied zur algorithmisch orientierten oder „expliziten" Programmierung aller anderen Typen).

Rückführungen der Art (A) werden bereits bei Robotern der ersten Generation eingesetzt, solche der Arten (B) und (C) sind für die zweite, solche der Art (D) für die dritte Generation typisch.

### 1.3.2. Programmablaufsteuerung

Die Programmablaufsteuerung realisiert den Gesamtablauf von Bewegungen und Aktionen gemäß dem eingegebenen Programm. Sie greift auf den Programmspeicher zu und sorgt für die sequentielle Ausführung der dort abgelegten Befehle.
Einfache Handhabegeräte kommen mit einer Programmsteuerung mit festem Programmablauf aus (Bild 1.6). Die Ablaufsteuerung reduziert sich auf ein Schrittschaltwerk, das bei Eintreffen gewisser Quittungssignale aus dem Roboter oder der Peripherie (Beispiel: Erreichen von Endlagenschaltern) inkrementiert wird, worauf der nächste Befehl der Funktionssteuerung zur Ausführung übergeben wird. Realisierungsbeispiele sind Kugelschrittschaltwerke und über Schrittschaltwerk angesteuerte Steckerfelder.

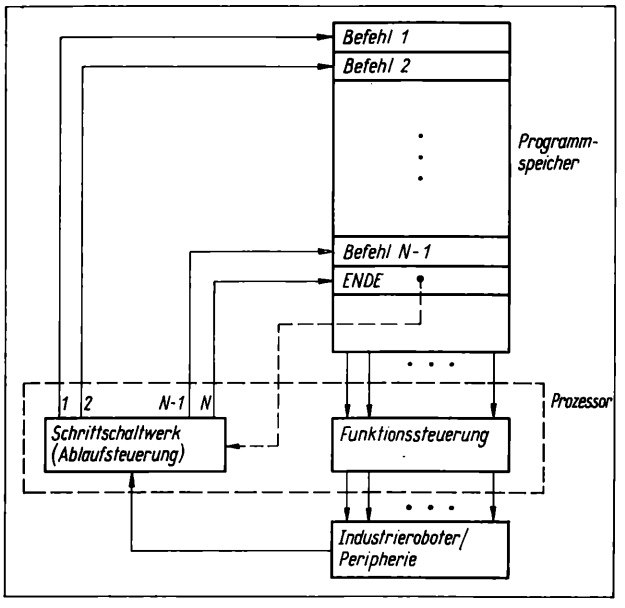



**Bild 1.6. Programmsteuerung mit festem Programmablauf (nach [1.1])**

Bereits das einfache Beispiel im Bild 1.6 zeigt, daß aus dieser Sicht eine Industrierobotersteuerung als programmierbares System im Prinzip die Grundstruktur eines Rechners hat: Sie verfügt über einen Programmspeicher; Ablaufsteuerung und Funktionssteuerung können zu einer verarbeitenden Einheit („Prozessor") zusammengefaßt werden, und es gibt schließlich (im Bild nicht genau dargestellt) ein Eingabe-/Ausgabewerk zur Kommunikation mit von der Steuerung aus gesehen peripheren Einrichtungen.
Bei festem Programmablauf werden alle Befehle von der Funktionssteuerung ausgeführt, die so dem Operationswerk (ALU) eines Rechners entspricht. Eine Ausnahme bildet im Bild 1.6 lediglich der Programmendebefehl (ENDE), der als Organisationsbefehl auf die Ablaufsteuerung wirkt.

msr 7680 Prof. Dr. sc. techn. *W. Schwarz*, Ingenieurhochschule Mittweida, Sektion Informationselektronik

(wird fortgesetzt)

# Problemdiskussion zur bestehenden Kluft Theorie — Praxis in der Automatisierungstechnik

## 0. Einleitung

Sie besteht gewiß, diese Kluft Theorie — Praxis und speziell, aber nicht nur, auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik und zweifellos verstärkt hervorgerufen durch die zu jeder passenden/unpassenden Gelegenheit genannten Schlagworte: Mikroelektronik/Robotertechnik!
Sie ist aber da, diese hochautomatisierte Technik und wir müssen bzw. wollen mit ihr leben und zwar mit ihrer Hilfe besser leben. Der in [1] dargestellte Hauptgrund in der Ziel-Lücke-Funktion mit den drei typischen Ursachen ist zweifellos ein über Jahre herauskristallisierter Erkenntnisprozeß, und ihn in gemeinsamer Arbeit der Bedeutung der Automatisierungstechnik entsprechend abzubauen, ist ein zeitliches Erfordernis und für alle Automatisierungskonzeptionen lebensnotwendig.
Entsprechend dieser Relevanz sollen im folgenden aus der Sicht der Betreiber und Instandhalter der Automatisierungstechnik einige Aspekte zur bestehenden Kluft Theorie — Praxis betrachtet werden.

## 1. Problem: Qualifizierung

Strittig bleibt bei Kenntnis der Zusammenhänge zum Problem Kluft Theorie — Praxis die Aus- und Weiterbildung, die Qualifizierung aller an der Realisierung großer und kleiner Automatisierungskonzeptionen direkt bzw. indirekt beteiligter Partner und deren Heranführung an das komplexe System Automatisierung mit all seinen komplizierten Erscheinungsformen. Für die Beurteilung der Strategie und die Entscheidungsfindung bei einer komplexen Automatisierungskonzeption, z. B. für ein großes Elektroenergieerzeugersystem, bedarf es einer gesunden Grundausbildung der für eine derartige Beurteilung bzw. Entscheidungsfindung verantwortlichen Fach- bzw. Leitungskräfte und eines prognostischen Weitblicks progressiver Fachspezialisten bzw. Leiter in Anbetracht der Tatsache, daß der Umstellungsprozeß auf dem Gebiet der Automatisierungstechnik durch Mikroelektronik und Robotertechnik nur die Spitze eines Eisberges weiterer Generationen neuartiger Automatisierungskonzeptionen ist.
Unter Beachtung dieser Zusammenhänge stellt sich die Frage, *welcher* Personenkreis (Theoretiker — Praktiker) *wie* in *was für* ein Qualifizierungssystem hinsichtlich der Automatisierungstechnik einzubeziehen ist.
Zweifellos ist die Qualifizierung der für die prognostische Entwicklung der Automatisierungstechnik Verantwortlichen (Entwickler — Konstrukteur — Projektant) in allen Ebenen von hohem theoretischem Niveau, dagegen scheint der Kenntnisstand der Vertreter der Leitungsebenen, die die entsprechenden Entscheidungen hinsichtlich langlebiger Automatisierungskonzeptionen zu fällen und somit einer volkswirtschaftlichen effektiven Anwendung zuzuführen haben, nicht in allen Situationen ausreichend zu sein. *Karl Marx* hob in seinen Werken die Rolle des technischen Fortschritts, der Wissenschaft und des Bildungsniveaus als Element der Intensivierung des Reproduktionsprozesses hervor. Ausdrücklich bezeichnete er die Entwicklungsstufe der Wissenschaft und ihrer technologischen Anwendbarkeit als einen wesentlichen Faktor zur Steigerung der Arbeitsproduktivität.
Daß es sich bei der Automatisierungstechnik, vielerorts bereits verwirklicht durch die Mikroprozeßrechentechnik/Robotertechnik, um eine aus derzeitiger Sicht extrem hohe Stufe der Wissenschaft handelt, steht außer Frage. Sie technologisch ohne Verlustzeiten in der Praxis wirksam werden zu lassen, bedarf qualifizierter, prognostisch weitblickender Entscheidungsebenen, denn nur so kann einer künstlichen Zielstellung [1] mit qualifizierten Mitteln entgegengewirkt werden, nur so kann volkswirtschaftlicher Unsinn vermieden werden, nur so kann der Zielstellung, das effektivste und für die Zukunft optimale Automatisierungskonzept einzusetzen, natürlich entsprechend der Hierarchie der zu automatisierenden Industrieanlagen, Rechnung getragen werden. Schon bei der Entscheidungsfindung zum jeweiligen Automatisierungskonzept beginnt, nicht immer im Interesse der Volkswirtschaft, die Konfrontation zwischen Theoretikern und Praktikern. In solchen Phasen der betriebsinternen Entscheidungsfindungen, z. B. bei der Vorbereitung von Rekonstruktionsmaßnahmen, ist diese Kluft oft klar zu erkennen. Eine wesentliche Ursache ist der ungenügende Kenntnisstand zur Automatisierungstechnik, woraus sich nachfolgender negativer Aspekt ableiten läßt:
Von der verantwortlichen Leitungsebene kann keine sach- und fachgerechte Entscheidung zur vorgeschlagenen Automatisierungskonzeption und der sich ergebenen volkswirtschaftlichen Zielstellung gefällt werden, sie steht z. B. jeder künstlichen Zielstellung machtlos gegenüber, es entsteht eine unbewußte innerliche Abneigung zur Automatisierungstechnik, die erforderliche Entscheidungsfindung ist nicht mehr objektiv und somit dem Erfordernis nicht entsprechend. Dabei muß die Antipathiehaltung nicht unbedingt der Automatisierungstechnik an sich gelten.
Die im Betrieb sich dadurch einstellende Kluft zwischen theoretischem Erkennen und praktischem Erfordernis verbessert keinesfalls das Verhältnis in diesem Sinne nach außen, diese Kluft besteht auch zwischen Betrieb und wissenschaftlicher Einrichtung.
Dieser Zustand des Theorie-Praxis-Verhältnisses hat zweifellos mit seinen Ursprung im nicht immer ausreichenden Qualifizierungsstand der Vertreter entsprechender Entscheidungsebenen und kann nur über gezielte und über alle Ebenen sinnvolle Problemdiskussionen ins Gleichgewicht gebracht werden. Das Ausschalten aller Störfaktoren und die Herstellung dieses Gleichgewichtes muß das Erfordernis unserer Zeit sein.

## 2. Problem: Technik und Zuverlässigkeit

Zweifellos führt auch die in vielen Industriezweigen massenhaft eingesetzte und sich nicht immer und in allen Fällen bewährte Automatisierungstechnik zur weiteren Vertiefung der Kluft Theorie — Praxis.
Geht man beispielsweise davon aus, daß an einem 500-MW-Block [2] 120 Funktionsgruppen mit etwa 20.000 Stellgliedern, Gebern und Kartenbausteinen, 150 Regelkreise mit etwa 1700 Stelleinrichtungen installiert sind und 3000 Prozeßgrößen mit

etwa 15.000 Gebern, Anzeige- und Registriergeräten gemessen bzw. gestellt werden, und davon ein nicht unwesentlicher Teil, z. B. der Regelkreise, nicht funktionstüchtig und somit zur „regelungstechnischen Investruine" degradiert ist, scheint die bestehende Kluft aus dieser Sicht nicht unbegründet zu sein, zumal auch objektive Gründe dazu beitragen (z. B. Nichtbeachtung vorhandener Informationsangebote aus der Praxis), diese Kluft nicht abzubauen. Dabei hat an der Unzuverlässigkeit die Meßtechnik den entscheidenden Anteil [3]. Diese Funktionsuntüchtigkeiten und diese Unzuverlässigkeit der an der Automatisierungstechnik beteiligten bzw. für die Automatisierungstechnik verwendeten Bauelemente gilt es zu beseitigen, um damit das gestörte Vertrauensverhältnis Theorie — Praxis positiv zu beeinflussen.

### 3. Problem: Datenrückmeldung und -anwendung

In Erkenntnis der Notwendigkeit, aus der im Betrieb realisierten Automatisierungstechnik für die Entwicklung, Projektierung und Konstruktion notwendige, zuverlässigkeitsrelevante Daten zu erhalten, wurde in den Kraftwerken z. B. umfangreiche wissenschaftliche Arbeit geleistet und wurden Möglichkeiten geschaffen, die im Betrieb an der Automatisierungstechnik anfallenden Daten zu erfassen, zu speichern und damit abrufbar der wissenschaftlichen Verwendung und Anwendung zur Verfügung zu stellen. Obwohl angenommen werden müßte, daß für diese Information großes Interesse vorliegt, beweist die Nichtabforderung dieses Informationsmaterials das Gegenteil. Das Datenrückflußsystem [4] ist gewiß kein Allheilmittel für den Erfinder bzw. Entwickler bzw. Konstrukteur neuer Automatisierungssysteme, aber daß neben den mathematisch orientierten Zuverlässigkeitsmethoden ingenieurtechnisch orientierte einen festen Platz haben, ist in vielen wissenschaftlichen Arbeiten bewiesen worden.

### 4. Problembetrachtung

Aus der Darstellung dieser drei aus der unmittelbaren Praxis kommenden Probleme (ohne Anspruch auf Vollzähligkeit) kann man erkennen, daß die Erkenntnis der Ursachen dieser Probleme dazu beitragen kann, diese entstehende Kluft entscheidend abzubauen. Die bestehende Kluft Theorie — Praxis wird die Entwicklung der Automatisierungstechnik nicht aufhalten, sie ist allerdings dazu angetan, die technologische Wirksamkeit zu verschleppen und damit volkswirtschaftlich nicht gewollte negative Effekte zu verursachen. Auch mit einer gewissen fachlichen Unsolidität können die Mikroelektronik und die Robotertechnik zu derartigen negativen Effekten in der Industrie umschlagen. Um solche Erscheinungsformen zu verhindern, muß mit entsprechender Sach- und Fachkenntnis und in hoher politischer Verantwortung über jedes Automatisierungskonzept entschieden werden, über das der prognostischen Entwicklung genauso wie über jenes für den sofortigen industriellen Einsatz, unter der Prämisse der bedingungslosen Zusammenarbeit zwischen Theorie und Praxis. Dabei bleibt der Wissenschaft nach wie vor die Aufgabe gestellt, neue Automatisierungskonzepte zu entwickeln und sie der Praxis so darzustellen, daß die notwendige Entscheidungsfindung über alle künstlichen Zielstellungen erhaben sein kann. Mit dieser Zielfunktion kann jede gemeinsame Entscheidungsfindung zum Gütekriterium höchster Ordnung werden.

### 5. Schlußfolgerungen

Nachfolgende Schlußfolgerungen stellen in ihrer Rangfolge keine Wertung dar und bedürfen in einer umfassenden Problemdiskussion noch einer entsprechenden Qualifizierung:

- Es muß Aufgabe aller an der Automatisierungstechnik beteiligten Partner sein, die entsprechenden Leitungsebenen so zu qualifizieren, daß Entscheidungsfindungen herbeigeführt werden können, die die erwartbaren ökonomischen Effekte neuer Automatisierungskonzeptionen verwirklichen. Dabei darf die Qualifizierung nicht Selbstzweck, nicht notwendiges Übel sein, sie muß zum objektiven Bedürfnis werden.
- Diese so mit dem notwendigem Grundwissen ausgestatteten Vertreter der Entscheidungsebenen müssen mit den Wissenschaftlern gemeinsam über notwendige Automatisierungskonzeptionen befinden, die Strategie festlegen und sie bis zur technologischen Wirksamkeit führen.
- Auf Kolloquien, Tagungen, Sessionen und wissenschaftlichen Veranstaltungen müssen Verantwortliche der Entscheidungsebenen mit den Wissenschaftlern Konzepte der Aufgabenübertragung an die Spezialisten vorbereiten und gemeinsam zur Anwendung bringen.
- Die Forschungsarbeit [1] ist auf praxisrelevante, abhebbare und bewertbare Zielmengen zu orientieren.

Das Problem „Kluft Theorie — Praxis" ist derart komplex, daß es wohl der Willensbekundung aller an der Automatisierungstechnik beteiligter Partner bedarf, diese Kluft konsequent abzubauen. Im Wissen um dieses Problem dürfte es nicht schwer sein, gemeinsam gangbare Wege zu dessen Lösung zu suchen und zu finden.

### Literatur


[1] *Kriesel, W.:* Überwindung der Gründe für die Kluft Theorie — Praxis in der Automatisierungstechnik. messen-steuern-regeln **25** (1982) H. 4, S. 182 bis 184.

[2] *Schwadtke, D.; Löffler, Chr.:* Problemstellungen beim Entwurf und bei der Realisierung ingenieurmäßig orientierter Zuverlässigkeitsarbeit in der Kraftwerksautomatisierung. Energietechnik **31** (1981) H. 7, S. 266–271.

[3] *Schwadtke, D.; Platz, W. W.:* Betrachtungen zur Methodik der Zuverlässigkeitsarbeit an der Automatisierungstechnik der 500-MW-Blockeinheiten. messen-steuern-regeln **25** (1982) H. 8, S. 444–450.

[4] *Töpfer, H.; Kriesel, W.:* Funktionseinheiten der Automatisierungstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1980.



msr 7690 Dr.-Ing. *D. Schwadtke*,
VE Kombinat Braunkohlenkraftwerke,
Stammbetrieb Jänschwalde


---

(Fortsetzung von Seite 578)


[15] TGL 16007: Schaltzeichen der Elektrotechnik; Allgemeine Kennzeichen. Ausgabe Dezember 1976.

[16] TGL 16005: Schaltzeichen der Elektrotechnik; Leitungen und Leitungsverbindungen. Ausgabe November 1976.

[17] TGL 7783: Anschlußstellen für Schutzleiter; Technische Forderungen (Entwurf auf der Basis TGL-RGW 2308, Ausgabe 1980).

[18] TGL 200-0601/02: Elektrotechnische Anlagen; Allgemeine Errichtungsvorschriften; Allgemeine technische Forderungen. Ausgabe 1979.

[19] *Kloust, H.:* Abstimmung von Sicherheitsvorschriften mit der UdSSR. Der Elektro-Praktiker **33** (1979) H. 9, S. 295 und 296.

[20] TGL 22500/04: MSR-Technik; System ursamat; Standard-Interface für analoge Funktionseinheiten, Geräte und Einrichtungen. Ausgabe September 1975.

[21] TGL 14111: Elektrotechnische Schaltanlagen; Kennzeichnung an Geräten und Bauteilen, Klemmen, Klemmleisten und Leitungsenden für Steuer-, Meß- und Meldezwecke. Ausgabe April 1973.

[22] TGL 200-0055/02: Elektrotechnische Ausrüstungen für Be- und Verarbeitungsmaschinen; Allgemeine technische Forderungen. Ausgabe 1975.

[23] TGL 200-0560: Kabelkennzeichnungsband. Ausgabe August 1963 (Ergänzungen: Entwurf 1982).

[24] TGL 200-0602/03 Schutzmaßnahmen in elektrotechnischen Anlagen; Schutz beim Berühren betriebsmäßig nicht unter Spannung stehender Teile. Ausgabe 1982.

[25] *Cunow, F.:* Zur Überarbeitung der TGL 14091. msr **25** (1982) H. 3, S. 140 bis 142.

[26] TGL 29978: Schilder, im Siebdruck hergestellt; Sinnbild, Text, Farben, Abmessungen. Ausgabe August 1981.


msr 7638

# Rationalisierung der Leitung des Produktionsprozesses

Im Rahmen der 4. wissenschaftlichen Konferenz „Rationalisierung im Maschinenbau" der Ingenieurhochschule Zwickau tagte am 25. und 26. März 1982 die Fachgruppe „Rationalisierung der Leitung des Produktionsprozesses". Unter den 160 Teilnehmern aus Betrieben und wissenschaftlichen Institutionen waren neben den DDR-Vertretern auch Wissenschaftler aus der UdSSR, der ČSSR, der VR Polen, der VR Bulgarien und der SR Rumänien.

Die Produktionsleitung wirkt als „Nahtstelle" zwischen der Gesamtheit aller produktionsvorbereitenden Aktivitäten und dem unmittelbaren Produktionsprozeß. Alle Erscheinungsformen der objektiv bedingten zunehmenden Komplexität und Kompliziertheit der Produktion stellen künftig höhere Anforderungen an die Rationalität der Produktionssysteme und deren Leitung. Davon ausgehend verfolgte die Arbeit der Fachgruppe das Ziel,

- den erreichten Stand der Rationalisierung der Produktionsleitung in Betrieben der metallverarbeitenden Industrie einzuschätzen
- neue theoretische Erkenntnisse und realisierte progressive Lösungen vorzustellen
- hierbei gewonnene Erfahrungen zu vermitteln
- künftige Rationalisierungsrichtungen, -aufgaben und -möglichkeiten zu begründen.

Die Vorträge gruppierten sich um die Themenkreise

- Rationalisierung des Zusammenwirkens der operativen Produktionsleitung mit produktionsvorbereitenden Bereichen
- Stand und Probleme der rechnergestützten Planung, Lenkung und Kontrolle
- Erfahrungen und Probleme der Fertigungssteuerung
- Stand und Probleme der Schaffung von Typenlösungen und Typarbeitsplätzen im Bereich der Produktionsleitung
- Rationalisierungsmöglichkeiten im Bereich der Produktionsleitung durch Nutzung ausgewählter methodischer Instrumentarien.

Im Einführungsvortrag wurden durch Prof. Dr. sc. techn. *H. Zeidler*, Prorektor für Naturwissenschaften und Technik der Ingenieurhochschule Zwickau, die seit der 3. wissenschaftlichen Konferenz erzielten Forschungsergebnisse vorgestellt sowie jene Forschungsschwerpunkte aufgezeigt, an denen die Wissenschaftler der IH Zwickau nach dem X. Parteitag der SED arbeiten.

*F. Pleschak*, TU Dresden, referierte über „Aktuelle Probleme der Rationalisierung der Vorbereitung der Produktion". Er begründete u. a., daß die jetzt gegebenen Möglichkeiten eines dezentralen Rechnereinsatzes, gekoppelt mit zentralen Rechnern, komplexe, durchgängige Anwendungslösungen der Vorbereitung und Durchführung der Produktion ermöglichen und erfordern.

*D. Müller* stellte im Vortrag „Erfahrungen der Rationalisierung von produktionsvorbereitenden Prozessen im VEB Robotron, Buchungsmaschinenwerk Karl-Marx-Stadt", eine effektive Rationalisierungslösung vor. Durch Nutzung eines Rechners KRS 4201 ist es u. a. gelungen, 30 Arbeitskräfte im Bereich Technologie und Belegausfertigung einzusparen und eine Senkung des Aufwandes für die Datenerfassung um 30% zu erzielen.

*F. Mertens*, VEB Traktorenwerk Schönebeck, referierte über „Erfahrungen der Einführung neuer Wechselfließreihen". Er verwies insbesondere auf die Notwendigkeit und Effektivität der Schaffung des erforderlichen konzeptionellen Vorlaufs in den Bereichen Vorbereitung, Durchführung und Realisierung der Produktion. Im Ergebnis einer koordinierten konzeptionellen, zielstrebigen Leitung konnten in diesem Betrieb hohe Wachstumsraten der Produktion und des Absatzes bei gleichbleibenden Arbeitskräften erreicht werden.

*V. Oppitz*, TU Dresden, begründete im Vortrag „Zur Vervollkommnung der Produktionsleitung durch gleitende Fertigungsplanung", daß eine wesentliche Aufgabe der kurzfristigen Produktionsplanung darin besteht, Planzeitraum, Planrhythmus und die Länge der Planabschnitte exakt zu berechnen. Kontinuität und Stabilität der Planerfüllung werden dadurch verbessert.

*M. Kitzig*, VEB Kombinat Robotron, Buchungsmaschinenwerk Karl-Marx-Stadt, stellte im Vortrag „Die Anwendung einer Methode der gleitenden Produktionsplanung" ein Planungsprojekt vor, das in seiner ersten Stufe — auch ohne Kenntnis der exakten Bestände an unfertigen Erzeugnissen — die Ermittlung des Bedarfes der für die Erzeugnismontage notwendigen Baueinheiten ermöglicht.

*J. Neumann*, TU Dresden, arbeitete im Vortrag „Die Automatisierung der Produktion — Bestandteil der ökonomischen Strategie" heraus, daß die Planung, Lenkung und Kontrolle der Produktion ein Hauptanwendungsgebiet der automatisierten Produktionsdatenverarbeitung ist und daß die Integration dieses komplizierten Systems in den Komplex der Automatisierung auf der Tagesordnung steht. Als Integrationsbereiche wurden

- die Automatisierung der Haupt- und Hilfsprozesse in der Produktionsdurchführung
- die Automatisierung der Produktionsdatenverarbeitung der Planung, Lenkung und Kontrolle sowie der Abrechnung und Analyse
- die Automatisierung der Produktionsdatenverarbeitung in der Produktionsvorbereitung, Materialversorgung und Absatztätigkeit

begründet und erläutert.

*W. Friedrich*, Forschungszentrum im „Fritz-Heckert-Kombinat" Karl-Marx-Stadt, berichtete im Vortrag „Zur Gestaltung automatisierter Fertigungssteuerungen für bedienarme Fertigung" über den erreichten Stand und noch zu bewältigende Probleme. Insbesondere wurden die zu integrierenden Bereiche und zu automatisierenden Funktionen aufgezeigt. Besondere Probleme ergeben sich hinsichtlich der Auswahl und des Einsatzes der Hardware sowie bei der Entwicklung der erforderlichen Software.

Im Vortrag von *B. Jäkel/W. Ihle*, Leiteinrichtung für EDV und Prozeßrechentechnik des Ministeriums für Allgemeinen Maschinen-, Landmaschinen- und Fahrzeugbau, zu „Entwicklungstendenzen der Leitungsorganisation bei dezentraler Anwendung der EDV" wurde u. a. hervorgehoben, daß der Einsatz dezentraler Datentechnik unmittelbar am Arbeitsplatz völlig neue Anforderungen an die Vorbereitung und Durchführung der Einsatzvorbereitung stellt. Es kommt hierbei insbesondere darauf an, rechtzeitig den organisatorischen Vorlauf komplex zu sichern, um die vielfältiger gewordenen gerätetechnischen Möglichkeiten und softwareseitigen Bedingungen für effektivere Organisationslösungen nutzen zu können.

*W. Bohr*, VEB Sachsenring Automobilwerke Zwickau, berichtete über „Erfahrungen zum zweckmäßigen EDV-Einsatz in der operativen Produktionsleitung". Es wurde darauf verwiesen, daß mit zunehmender Komplexität der Leitung und Planung auch nach wirksameren Möglichkeiten der Anwendung der EDV gesucht werden muß. Dafür wurde eine Vorgehensweise zur Bestimmung der zweckmäßigen Organisation der EDV-Anwendung vorgestellt.

Im Vortrag von *J. Lippold*, Ingenieurhochschule Mittweida, „Rationelles Zusammenwirken von Haupt- und Hilfsprozessen durch Echtzeitbetrieb" wurde am Beispiel einer zentralisierten Teilefertigung im VEB Kombinat Robotron, Buchungsmaschinenwerk Karl-Marx-Stadt, die rechnergestützte Führung des Fertigungshauptprozesses und notwendiger TUL-Prozesse im prozeßgekoppelten Betrieb für EDVA (Echtzeitverarbeitung) erläutert. Das Simulationsmodell und die Vorteile seiner Nutzung wurden überzeugend dargelegt.

Ökonomische und organisatorische Aspekte der lagergesteuerten Fertigung sowie Stand und Probleme der Einführung dieser Steuerungsform in der DDR waren Gegenstand der Vorträge von *J. Modes*, Ingenieurhochschule

Zwickau / *H. Fickert*, VEB Zwickauer Maschinenfabrik. Durch beide Vorträge wurde begründet, daß diese Steuerungsform unter bestimmten Bedingungen gut geeignet ist, den Forderungen nach höherer Flexibilität und Kontinuität besser zu entsprechen. Unter anderem können bereits bei nur partieller Nutzung dieser Steuerung beachtliche Verbesserungen im Fertigungsablauf der Wiederholteile erreicht werden.

*R. Hummitsch*, VEB Tempergießerei Schönheiderhammer, berichtete im Vortrag „Probleme und Erfahrungen bei der Fertigungssteuerung mit Echtzeitrechner" über bemerkenswerte Ergebnisse, die durch Nutzung eines Kleinrechners KRS 4200, einschließlich Geräten der 1. Peripherie, sowie durch Ursadat 4010 und im Eigenbau hergestellter Technik erreicht wurden. Besonderes Interesse riefen bei den Teilnehmern die Erläuterungen zur Einbeziehung der Werktätigen in dieses Steuerungssystem hervor.

*N. S. Salomatin*, Institut für Leitung „Ordshonikidse", Moskau, berichtete über Forschungsergebnisse und Anwendungserfahrungen „Zur Nutzung der Simulation" unter den Bedingungen der kurzfristigen Produktionsplanung in Betrieben des Maschinenbaus der UdSSR. Es wurde verdeutlicht, daß den Methoden zur Simulation von Produktionsprozessen in der UdSSR eine zunehmend größere Bedeutung beigemessen wird, weil durch deren Nutzung die Effektivität der Produktionsprozesse beachtlich gesteigert werden kann.

*R. Holy*, Institut für Technologie und Ökonomie des Maschinenbaus, Prag, informierte über „Erfahrungen der komplexen Rationalisierung des Schleifmaschinen-Betriebes Hostivař/Prag". In diesem Betrieb ist es gelungen, ein Beispiel für ein integriertes Fertigungs-, Leitungs- und Sozialsystem zu schaffen. Der Vortrag vermittelte einen Überblick über die integrierten und automatisierten Bereiche, über bisher erreichte Ergebnisse und noch zu bewältigende Probleme.

*K. Wróblewski, A. Jurecka* und *R. Krawczyński*, Polytechnische Hochschule Warszawa, stellten im Vortrag „Steuerung des Produktionsverlaufes bei Anwendung von Prioritätsregeln" ein Modell vor, das den Zeitpunkt der Einsteuerung des Arbeitsauftrages, die geplante Arbeitsgangdauer, die tatsächliche Arbeitsgangdauer, die Abwesenheit der Arbeitskräfte und den Maschinenausfall einbezieht.

*B. Altwasow / G. Zwetkow / M. Tersigiska*, Technische Hochschule „W. I. Lenin" Sofia, referierten zum Thema „Vorstellung einer modifizierten Methode zur Optimierung der Reihenfolge bei Gruppenbearbeitung von Einzelteilen". Sie erläuterten hierzu eine praktisch bewährte Problemlösung.

*W. Beetz / H.-P. Kubis*, Ingenieurhochschule Zwickau, vermittelten mit dem Vortrag „Stand und Probleme der Schaffung von Typarbeitsplätzen im Bereich der Produktionsleitung" einen Überblick zur diesbezüglichen Problemlage. Es wurden die Notwendigkeit und Möglichkeit der Schaffung von getypten Organisationslösungen und getypten Arbeitsplätzen begründet sowie Vorgehensschritte zu ihrer Erarbeitung aufgezeigt und mögliche erreichbare Effekte genannt.

*W. Gersch / K. Rudolph / M. Stadtkus*, Forschungszentrum des Werkzeugmaschinenbaus im Kombinat „Fritz Hekkert", Karl-Marx-Stadt, konnten im Vortrag „Disponentenarbeitsplatz — ein Rationalisierungskonzept der Fertigungssteuerung" über eine rechnergestützte Lösung für integrierte gegenstandsspezialisierte Fertigungsabschnitte für kleine und mittlere prismatische Teile berichten, die in einem Betrieb dieses Kombinates derzeit erprobt wird. Sie ist mit einem hohen Grad der Wiederverwendungsfähigkeit konzipiert. Durch den Einsatz von Datenverarbeitungstechnik direkt am Arbeitsplatz des Disponenten erfolgt eine Entlastung der Disponenten von Routinearbeit, eine Objektivierung der Entscheidungen, eine Verringerung des Datenerfassungsaufwandes auf Zwischenträger und eine aktuelle Informationsbereitstellung.

*D. Seltmann*, VEB Kombinat Robotron, Buchungsmaschinenwerk Karl-Marx-Stadt, gab im Vortrag „Spezielle mikrorechnergestützte Arbeitsplätze in Technologie, Produktion und Materialwirtschaft" einen Überblick über den Stand der Entwicklung der Gerätetechnik auf mikroelektronischer Basis des Kombinates Robotron sowie deren Nutzungsmöglichkeiten zur Gestaltung spezieller Arbeitsplätze für Technologen, Statistiker, Betriebsdirektoren, Materialwirtschaftler u. a. Hierbei handelt es sich vorrangig um Einsatzbedingungen, die einen effektiven Großrechnereinsatz nicht gewährleisten.

Im Vortrag „Zur Erarbeitung und Nutzung von Entscheidungshilfen für die Abwehr und Beseitigung von Störungen in Produktionsprozessen", den *J. Kaufmann*, Ingenieurhochschule Zwickau, hielt, wurde darauf verwiesen, daß etwa 80% aller Entscheidungsaufgaben, die bei der Abwehr und Beseitigung von Störungen im Produktionsprozeß auftreten, eine routinemäßige Informationsverarbeitung ermöglichen. Durch die Erarbeitung und Nutzung von Entscheidungshilfen, d. h. von Vorschriften zur Bewertung praktisch relevanter Entscheidungsvarianten, können die Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Effektivität der Fertigungsprozesse sowie die Einsparung von lebendiger Arbeit in der Lenkung und Kontrolle unterstützt werden.

*J. Körner / C. Schott*, Ingenieurhochschule Zwickau, referierten über Forschungsergebnisse „Zur zweckmäßigen Auswahl von Problemlösungsvarianten". Hierbei wurde davon ausgegangen, daß die Prozesse zur Begründung bedingungsabhängiger Bestvarianten der Rationalisierung immer komplizierter werden. Es wurde eine „Methodische Empfehlung" zur systembezogenen Zuordnung von Problemlösungsvarianten zu klassifizierten Anwendungsbedingungen vorgestellt. Weiterhin wurde darüber informiert, daß für die rationelle Bewältigung derartiger Zuordnungsprobleme sowie für die Lösung vielfältiger weiterer konzeptioneller Aufgabenstellungen durch ein Forschungskollektiv der IH Zwickau ein „System methodischer Bausteine" entwickelt wurde, das allen Interessenten zur Nachnutzung zur Verfügung gestellt werden kann.

*W. Schott / V. Rössel*, Ingenieurhochschule Zwickau, stellten im Vortrag „Zur Nutzung zweckmäßiger mathematischer Modelle in der Produktionsleitung — dargestellt am Beispiel der Losgrößenbestimmung" ein Untersuchungsergebnis vor, das die Praktiker in die Lage versetzt, relativ schnell und zielsicher jenes mathematische Modell — aus der Vielfalt vorhandener — zu finden, das für die Anwendungsbedingungen am geeignetsten ist. Durch *S. Hesselbach*, TU Dresden, wurde das dringende Bedürfnis der Praxis für derartige methodische Hilfsmittel nachgewiesen.

*H. Richter / K.-D. Rudat*, Ingenieurhochschule Zwickau, gingen in ihrem Vortrag „Algorithmierung der Durchführung einer systematischen Fertigungskontrolle als Grundlage für die Verbesserung und materielle Stimulierung des Qualitätsniveaus in der Produktion" davon aus, daß durch eine gute Endkontrolle zwar erreicht werden kann, daß keine mangelhaften Teile den Betrieb verlassen, aber jeder festgestellte Mangel mehr oder weniger die Effektivität der Produktion vermindert. Die unmittelbare Fertigungsüberwachung ist deshalb ein wichtiger Eckpfeiler zur Sicherung der geforderten Erzeugnisqualität.

*W. Korn / W. Beetz*, Ingenieurhochschule Zwickau, wiesen im Vortrag „Zu methodischen Aspekten der Bestimmung perspektivischer Entwicklungserfordernisse und -tendenzen der Produktionsleitung" nach, daß in den Plänen Wissenschaft und Technik der Rationalisierung der Produktionsleitung in einigen Betrieben noch nicht der gebührende Stellenwert eingeräumt wird. Eine Ursache wird darin gesehen, daß perspektivisch orientierte Soll-Modelle selten vorliegen. Es wurde ein Vorgehensweg zur Erarbeitung derartiger Soll-Modelle vorgestellt.

Insgesamt kann eingeschätzt werden, daß die Vorträge ein hohes theoretisches Niveau aufwiesen. Sie vermittelten neben dem Überblick über den Entwicklungsstand in Theorie und Praxis vielfältige Anregungen zur Lösung der zunehmend komplizierter werdenden Aufgaben der achtziger Jahre im Bereich der Produktionsleitung.

Die Mehrzahl der Vorträge der Fachgruppe wurden in einem Sonderheft den Teilnehmern übergeben. Interessenten für dieses Sonderheft werden gebeten, sich diesbezüglich an die Hochschulbibliothek der IH Zwickau, Dr.-Friedrichs-Ring 2a, zu wenden.

msr 7684 *W. Beetz; W. Schott*

# 1. Internationale Konferenz Mikroakustik/Akustoelektronik an der Ingenieurhochschule Dresden

Vom 21. bis 26. April 1982 fand die „1. Internationale Konferenz Mikroakustik/Akustoelektronik" im Rahmen der V. Wissenschaftlichen Tagung der Ingenieurhochschule Dresden statt. Unter reger Mitarbeit von namhaften Wissenschaftlern aus der UdSSR, der VR Bulgarien, der VR Polen, der ČSSR, der Ungarischen VR und der DDR war die Tagung von einem internationalen Organisationskomitee vorbereitet worden. Auf der Tagung wurden 26 Vorträge gehalten und zusätzlich 16 Posterbeiträge ausgestellt.

Vorgetragen wurde zu den Themenkomplexen:

- Entwurf passiver mikroakustischer Bauelemente
- Entwurf aktiver akustoelektronischer Bauelemente
- Akustooptische Einrichtungen
- Materialien und Technologien der Mikroakustik/Akustoelektronik und der Akustooptik
- Meßtechnik für Entwurf und Bauelemente-Parameter.

Neben den Fachvorträgen zu den genannten Themenkomplexen sind insbesondere drei Übersichtsvorträge zu nennen, die sich mit dem Stand und den Perspektiven des Fachgebietes aus der Sicht der jeweiligen Teilnehmerländer beschäftigen. In seinem einführenden Übersichtsvortrag ging *E. Trzeba* (Ingenieurhochschule Dresden) auf die bisherige Entwicklung der Mikroakustik in der DDR ein und stellte die industrielle Entwicklung, ausgehend von der ersten Generation von Festkörperresonatoren in den sechziger Jahren über die monolithischen Anordnungen der siebziger Jahre bis zu den akustischen Oberflächenwellen-(AOW-)Bauelementen der Gegenwart, dar. Es wurde ein Überblick über die neben der Frequenzselektion weiterhin existierenden Anwendungsgebiete, wie Optimalfilterung, Frequenzsynthese, Sensortechnik usw., gegeben und der Bearbeitungsstand in der DDR dargestellt.

*I. B. Jakovkin* (Institut für Halbleiterphysik, Novosibirsk/UdSSR) ging besonders auf perspektivische Entwicklungen akustoelektronischer Einrichtungen, wie aktive Konvolver zur Ausführung der Faltungsoperation bei gleichzeitiger Analogwertspeicherung, ein und zeigte reale Perspektiven für die Entwicklung analoger Signalprozessoren auf. Ein weiterer wesentlicher Teil des Vortrages war den Möglichkeiten der Nutzung akustischer Oberflächenwellen in der Sensortechnik gewidmet.

Stand und Entwicklungstendenzen der Mikroakustik in der VR Bulgarien wurden von *M. Borisov*, korrespondierendes Mitglied der Bulgarischen Akademie der Wissenschaften (Institut für Halbleiterphysik, Sofia) vorgestellt. Besonderes Gewicht wurde dabei auf die Kopplung des akustischen und des elektronischen Teils der Schaltungen gelegt.

Ein für den Entwurf von mikroakustischen Bauelementen völlig neues Verfahren, die kapazitive Elektrodenwichtung, wurde von *I. B. Guljaev*, korrespondierendes Mitglied der Akademie der Wissenschaften der UdSSR (Institut für Radiotechnik und Elektronik, Moskau) dargelegt. Die mit diesem Verfahren erreichten Ergebnisse lassen eine wesentliche Verbesserung der Sperrdämpfung mikroakustischer Filter erwarten.

Breiten Raum nahmen die Vorträge zum Entwurf passiver und aktiver Elemente der Mikroakustik/Akustoelektronik ein. Dabei beschäftigte sich eine ganze Anzahl von Vortragenden mit dem Entwurf von Bandpässen.

Von *Ch. Hälsig* (VEB Elektronische Bauelemente Teltow) wurde zum Entwicklungsstand des im Vorjahr in die Produktion eingeführten Fernseh-FZ-Filters berichtet, von *K. H. Schultheiss* (TH Ilmenau) zur Analyse der FS-ZF-Baugruppen und von *G. Kurz* (Ingenieurhochschule Dresden) zum Verhalten von AOW-Bauelementen in der Verstärkerschaltung vorgetragen.

Mit dem Entwurf von Fernseh-ZF-Filtern beschäftigte sich in seinem Vortrag auch *M. Siwa* (Institut für Elektronik, Warschau).

Zum Problem des Entwurfes phasennichtlinear Bandpaßfilterer auf AOW-Basis wurde ein Poster von *E. Zidek* (IH Dresden) ausgestellt.

Die Tagung zeigte jedoch auch, daß andere Bauelemente, besonders solche, die fast konkurrenzlos einfache Lösungen für rein elektronisch nur mit hohem Aufwand lösbare Aufgaben bieten, immer mehr in den Blickpunkt rücken.

So trug *H. Pieper* (IH Dresden) zur Simulation von Resonatorstrukturen vor, *H. Hofmann* (IH Dresden) behandelte Probleme des Entwurfes von Korrelationsfiltern nach dem Prinzip von Mismatched- und Chirp-Filtern und *K. H. Schultheiss* die rechnergestützte Analyse von Schaltungen, die derartige Bauelemente enthalten. Signalverarbeitungsprinzipien mit Hilfe aktiver Mikroakustik-Bauelemente unter Verwendung von MOS-Transistoren wurden in den Vorträgen von *D. Stojanov* (Institut für Elektronik, Sofia) und von *W. Buff* (TH Ilmenau) behandelt.

Eine spezielle Entwurfsmethodik zum Entwurf mikroakustischer Bauelemente stellte *J. Nagy* (TH Kando Kalman, Budapest) in seinem Vortrag über die Methode der finiten Elemente vor. Neue Verstärker und Wandlerprinzipien in akustoelektronischen Einrichtungen wurden von *G. D. Mansfeld* (Institut für Radiotechnik und Elektronik, Moskau) vorgestellt.

Auf ein sich zur Zeit in stürmischer Entwicklung befindendes Gebiet, die Akustooptik, wurde in mehreren Vorträgen eingegangen. *I. B. Guljaev* trug zu Materialien der Akustooptik, insbesondere zu GaAs, vor. Außerdem wurde auf Fragen der Einkopplung des Lichtes in akustische Wellenleiter eingegangen.

*I. B. Jakovkin* trug zu Einwirkungen von optischen Signalen auf akustoelektronische Konvolver vor und *F. Zimmer* (IH Dresden) behandelte Probleme der Untersuchung des akustischen Oberflächenwellenfeldes mit holografischen Methoden.

Neben den Verfahren des Entwurfes konzentrierte sich ein bedeutender Teil der Vorträge auf Probleme der Technologie und auf Materialien. Von *H.-J. Fröhlich* (Zentralinstitut für Elektronenphysik, Berlin) wurden insbesondere Probleme von Schichtstrukturen behandelt. Dieser Vortrag wurde ergänzt durch zwei Poster zu Problemen der Herstellung von ZnO-Schichten von *A. Monke* (TH Ilmenau) und *R. Kaltofen* (Zentralinstitut für Festkörperphysik und Werkstoffe, Dresden).

Über Ergebnisse von Untersuchungen zur Piezokeramik wurde von *M. Weihnacht* (ZfW, Dresden) berichtet. Einen Überblick über den Stand, die Möglichkeiten und theoretischen Grundlagen der Elektronenstrahllithografie gab der Vortrag von *M. Tierok* (IH Dresden) und *I. N. Gorin* (Elektrotechnisches Institut Uljanov (Lenin), Leningrad). Dabei wurden auch erste experimentelle Ergebnisse vorgestellt. Ergänzt wurde dieser Vortrag durch einen Poster von *J. Müller* (IH Dresden) zur Herstellung von Strukturen in Lacklösetechnik und einen Poster von *G. Stock* (IH Dresden) zu Feldheftungsproblemen bei der elektronenlithografischen Herstellung von AOW-Strukturen.

Zu Problemen der Vierpolmeßtechnik an AOW-Bauelementen wurde von *H.-J. Dubrau* (IH Dresden) ein für den industriellen Prüfprozeß vorgesehener mikrorechnergesteuerter Meßplatz vorgestellt, der eine hochproduktive und gleichzeitig flexible Messung unter Produktionsbedingungen gestattet. *I. B. Jakovkin* behandelte das Problem der Untersuchung und Messung sekundärer Effekte bei der Erzeugung und Registrierung akustischer Oberflächenwellen.

Eine interessante Anwendung der Mikroakustik in der Meßtechnik war das in dem Vortrag von *M. A. Kulakov* und *A. I. Morosov* (Institut für Radiotechnik und Elektronik, Moskau) behandelte akustische Mikroskop.

Im Verlaufe der Tagung fand ein Erfahrungsaustausch statt, der besonders dem bilateralen Austausch von Informationen diente.

Das internationale Organisationskomitee erarbeitete ein Abschlußprotokoll, in dem neben den in den bereits bestehenden bilateralen Vorträgen genannten Richtungen als weitere wesentliche Arbeitsgebiete für die nächsten Jahre die Aufgaben der optimalen Wandler für AOW, die Anwendung von AOW für die Entwicklung von Sensoren, die Untersuchung nichtlinearer Effekte bei der Ausbreitung von AOW und deren Anwendung für die Realisierung

(Fortsetzung auf S. 591 unten)

# VI. Wissenschaftliche Konferenz für Energiewirtschaft der Ingenieurschule Zittau — Anforderungen der 80er Jahre an die Energiewirtschaft

In bewährter Tradition veranstaltete die Ingenieurhochschule Zittau vom 11. bis 13. Mai 1982 die o. g. Konferenz. Der Einladung waren mehr als 800 Fachkollegen aus der DDR und rd. 70 Fachleute aus 11 Ländern gefolgt. Insgesamt wurden in 7 Sessionen 220 Vorträge gehalten. Die Veranstaltung war in folgende Sessionen gegliedert:

- Entwicklung der Normenbasis der Leitung und Planung in der Energiewirtschaft
- Effektive Erzeugung von Elektroenergie und Wärme
  - Kernkraftwerke
  - konventionelle Kraftwerke
  - Rauschanalyse
  - thermodynamische Probleme
- Elektroenergetische Anlagen und deren Wechselwirkung mit der Umgebung
  - Starkstrombeeinflussung von landwirtschaftlichen und industriellen Objekten
  - Leistungskonzentration auf kleinem Raum in Elektroenergieanlagen
  - Verhalten von Hochspannungsisolierungen unter Feuchtigkeit und Verschmutzung
- Methoden zur Senkung des Energieverbrauchs bei energieintensiven Anlagen und Prozessen
  - Anfallenergienutzung
  - Prozeßanalysen
  - Wirkprinzipien
- Effektive Instandhaltung von Energieanlagen
  - Einleitung und Anlagenstrategien
  - Schädigungsprozesse und ihre Diagnose
  - Vorbereitung des Instandhaltungsprozesses — Technologie
- Informations- und Automatisierungstechnik in der Energiewirtschaft
  - Automatisierungs- und Mikrorechentechnik
  - Automatisierung in Elektroenergieverteilungsanlagen
  - Lichtleiter in Energieanlagen
- Energie und Gesellschaft

Die meisten Vorträge sind in den Wissenschaftlichen Berichten der Ingenieurhochschule Zittau, Hefte 379 bis 385, veröffentlicht.

In einer Plenartagung hielt *K. Fuchs*, AdW der DDR, unter dem Titel „Kernkraft — Herausforderung der 80er Jahre" einen Vortrag, in dem er u. a. den Zusammenhang zwischen Sicherung der Energiebasis als Fundament gesellschaftlicher Entwicklung und Friedenspolitik herausarbeitete.

*H. Hörz*, AdW der DDR, hielt einen umfassenden Vortrag zum Thema „Wissenschaftlich-technischer Fortschritt und Humanismus". Von der Fülle interessanter Gedanken sollen hier vergröbernd nur zwei wiedergegeben werden: Viele bürgerliche Philosophen betrachten Humanismus und technischen Fortschritt als sich ausschließende Alternativen — der Sozialismus schafft die Voraussetzungen für die sinnvolle Kombination. Die Unzufriedenheit vieler Gruppen in der kapitalistischen Welt mit dem Gesellschaftssystem wendet sich irregeleitet statt gegen das System gegen die technische Entwicklung, ähnlich der Maschinenstürmerei vergangener Epochen.

Für die Leser der „msr" ist in erster Linie die Session „Informations- und Automatisierungstechnik", die sich ganz der Problematik Anwendung und Einführung der Mikroelektronik widmete, von Interesse. Darüber hinaus sind einige Arbeiten zur Diagnose im Zusammenhang mit der Instandhaltung zu erwähnen. Unter Leitung von *D. Engelage*, IH Zittau, wurde als Gemeinschaftsveranstaltung mit dem CIGRE-Nationalkomitee SC 34, der Forschungskooperationsgemeinschaft ELTRA und der KDT-Hochschulsektion eine Vortragsgruppe zur neuen Geräte- und Anlagengeneration gehalten. *W. Kriesel*, TH Leipzig, sprach über Stand und Tendenzen des Einsatzes der Mikrorechner in Automatisierungsanlagen. Dabei wurden im Vortrag weiterführende Bemerkungen gegenüber dem ausgedruckten Text gemacht. *W. Meiling* und *I. Poethig*, TU Dresden, berichteten über den Einsatz von Mikrorechnern zur Lösung meßtechnischer Aufgaben im Kernkraftwerk. *J. Gorski*, Sibirisches Energetisches Institut Irkutsk (UdSSR), brachte einen Beitrag zur Informationsdarstellung für den Dispatcher über Bildschirm.

Zur neuen Gerätetechnik der DDR gab es einen Beitrag von *K. Zallmann*, VEB EAW Berlin-Treptow, zu ursatron 5000 und einen nicht vorgetragenen von *K. Ziegler*, VEB EAW Berlin-Treptow, zu ursadat 5000. Die Vortragsgruppe wurde abgeschlossen mit dem Vortrag von *H. Wackwitz*, TH Karl-Marx-Stadt, „Strategie zur mikrorechnergestützten Prüfung und Diagnose an elektronischen Baugruppen".

Unter Leitung von *W. Teichmann*, IH Zittau, stand die Vortragsgruppe „Automatisierung in Kraftwerken". Sie wurde eingeleitet mit dem Vortrag von *R. Müller*, TH Leipzig, und *W. Teichmann*, IH Zittau „Konsequenzen mikroelektronischer Automatisierungssysteme für Projektierung, interdisziplinäre Zusammenarbeit und anlagentechnische Entwicklung". *B. Hanuš*, TH Liberec (ČSSR), sprach über Algorithmen zur optimalen digitalen Regelung. *J. Panek*, ORGREZ, Brno (ČSSR), berichtete über den Einsatz von Prozeßrechnern in Kraftwerken der ČSSR. Dabei wurden besonders die teilweise Übernahme heißer Redundanz durch den Prozeßrechner des Nachbarblockes und die Reserve bei den externen Speichern dargestellt. Die Realisierung erfolgte an 2 Blöcken von 175 MW.

*J. Gorowski*, TH Wrocław (VR Polen), gab einen Kurzbericht über einige Arbeiten zur Anwendung von Mikroprozessoren in der Energietechnik.

*P. Besch*, TU Dresden, behandelte die Wechselwirkung zwischen Automatisierung und Wärmespannungen in Heißdampf führenden Bauteilen und die Möglichkeiten von Spannungsfreibetragsrechnern. *H. Ludwig*, KKAB Dresden, stellte Entwicklungstendenzen der Kraftwerksautomatisierung durch neue gerätetechnische Möglichkeiten dar. Zu diesen beiden Vorträgen ergab sich eine besonders rege Diskussion über Bedien- und Betriebskonzepte für Kraftwerksanlagen, die im wesentlichen die Zweckmäßigkeit einer Handbedienung bei einer in größerem Umfang nicht funktionstüchtigen Automatik mit Langzeit-Folgeschäden für die technologische Ausrüstung zum Inhalt hatte.

Theoretische Überlegungen zur Realisierung von Algorithmen der „modernen Regelungstheorie" (optimale Regelung, modelladaptive Systeme) waren Gegenstand der Vorträge von *K. Förster*, TU Dresden, *K. Küßner*, *K. Martin*, *E. Martin* und *G. Billerbeck*, ZKI der AdW der DDR, sowie des nicht vorgetragenen Beitrages von *P. Krämer*, IH Zittau.

Hervorzuheben ist die einleitende Bemerkung von *K. Küßner*, die Fülle von theoretischen Methoden, die mit konventionellen Mitteln keine Anwendung in der Prozeßautomatisierung gefunden haben, unter dem Gesichtspunkt der Realisierungsmöglichkeit mit Mikrorechnern noch einmal durchzusehen.

*W. R. Müller* und *P. Rieger*, TU Dresden, stellten eine freiprogrammierbare Einheit für einen Mikrorechner-Regler vor (Aufrüstung des ursamar 5000). Als Beispiel war die Anwendung auf die Wasserstandsregelung an einem Dampferzeuger des 500-MW-Blockes orientiert.

Zum Abschluß beschrieb *K. Rosenbaum*, IH Zittau, ein Zustandsraummodell für Dampfturbinen und seine Bedeutung u. a. für Aufgaben der automatisierungsgerechten Konstruktion.

Parallel zu dem beschriebenen Teil dieser Session wurden etwa 20 Vorträge zum Schutz in Elektroenergieverteilungsanlagen und nach diesen beiden parallelen Vortragsgruppen noch 12 Vorträge unter Leitung von *D. Engelage*, IH Zittau, zur Anwendung von Lichtleitern für die Automatisierung der Energieanlagen gehalten.

Hinsichtlich des Gesamtrahmens war die Tagung hervorragend organisiert. Die Betreuung der Gäste war vorzüglich. Nachteilig wirkte sich aus, daß innerhalb der Vortragsgruppen keinerlei Zeitdisposition angegeben war, so daß es kaum möglich war, wegen bestimmter Beiträge von einer Sitzung zur anderen zu wechseln. msr 7686 *R. Müller*

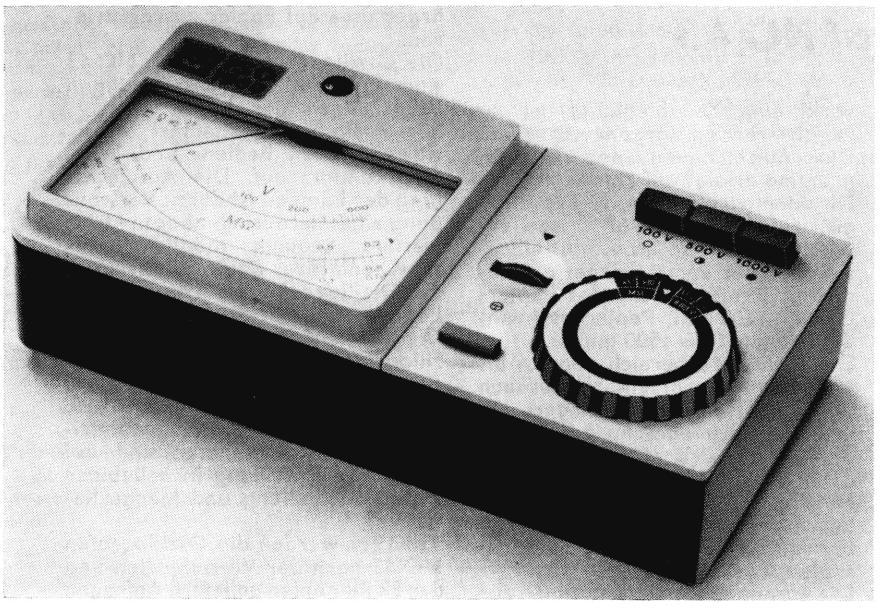
## Elektronischer Isolationsmesser ISO 1000

Der ISO 1000 ist eine Neuentwicklung aus dem Institut für Regelungstechnik, Forschungszentrum des Kombinates VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin-Treptow „Friedrich Ebert". Er löst die bisher vom VEB Meßtechnik Mellenbach produzierten Isolationsmessertypen ISO 51 und ISO 61 ab.

Die notwendige Meßspannung wird von einem geregelten Gegentakttransverter mit Kurzschlußstrombegrenzung und stabilisierter Ausgangsspannung erzeugt. Der ISO 1000 gewährleistet eine hohe Stabilität der Ausgangsspannung, so daß keine unzulässig hohe Meßspannung an hochohmigen Meßobjekten anliegen kann. Damit werden auch die in der VDE 0413 an Isolationsmesser gestellten Forderungen erfüllt. Es sind insgesamt 6 Widerstands-Meßbereiche mit einem Meßumfang von 50 kOhm bis 5 GOhm vorgesehen.

Ein Kontroll-Spannungsbereich von 600 V + 10% für Gleich- und Wechselspannung erlaubt es festzustellen, ob das zu prüfende Meßobjekt spannungsfrei ist. Die Spannungsfreigabe auf die Meßbuchsen des ISO 1000 erfolgt durch eine Impulstaste. Eine zusätzliche Meßbuchse ermöglicht die Bestimmung des Isolationswiderstandes zwischen 2 Adern eines mehradrigen Kabels in Dreileitermeßtechnik. Funktionsbereitschaft, Batteriekontrolle, Kurzschluß und Überbelastung des Gerätes werden durch LED angezeigt. Der ISO 1000 ist gegen Fehlbedienung gesichert und verfügt über einen Überlastschutz. Die Wirksamkeit der Überlast-Abschaltautomatik wird dadurch unterstützt, daß sich das Gerät durch erneute Betätigung der Einschalt-Impulstaste erst nach einer Pause von mindestens 4 s wieder in Betrieb nehmen läßt. Als zusätzliche Sicherungsmaßnahme befindet sich im Gerät noch eine Schmelzsicherung.

Der ISO 1000 hat folgende vorteilhafte Eigenschaften:



- 3 Meßspannungsbereiche
- stabilisierte Meßspannung
- Übersichtliche Skale für 2 Widerstandsbereiche je Meßspannung und 1 Kontrollspannungsbereich für Gleich- und Wechselspannung
- Anschlußbuchsen für Dreileitermeßtechnik
- Funktions- und Batteriekontrolle durch LED
- Kurzschluß- und Überlastkontrolle durch LED
- Abschaltautomatik
- sofortige Betriebsbereitschaft
- kleines Gehäuse aus bruchsicherem Thermoplast

*Technische Daten*

| | |
|---|---|
| Meßspannungsbereiche | 100 V, 500 V, 1000 V |
| Widerstands-Meßbereiche | 50 kOhm ... 5 GOhm |
| Meßgenauigkeit | $\leqq \pm 2{,}5\%$ |
| Strombegrenzung | eingebaut |
| Kontrollspannungsbereich (Gleich- und Wechselspannung) | 600 V + 10% |
| Kapazitive Belastung | $\leqq 5\ \mu F$ |
| Spannung | 5 × LR6-Zellen bzw. 5 × R6-Zellen |
| Stromaufnahme | 200 ... 450 mA je nach Belastung |
| Batteriekontrolle | „gelbe" LED-Anzeige |
| Überlastsicherung | „rote" LED-Anzeige |
| Schutzgrad | IP 20 |
| Klimaklasse | N III |
| Abmessungen | 210 × 105 × 60 mm |
| Masse | etwa 800 g. |

Die Fertigung erfolgt im VEB Meßtechnik Mellenbach, einem Betrieb im Kombinat VEB EAW Berlin-Treptow „Friedrich Ebert".

msr 7685 *W. Ullmer*

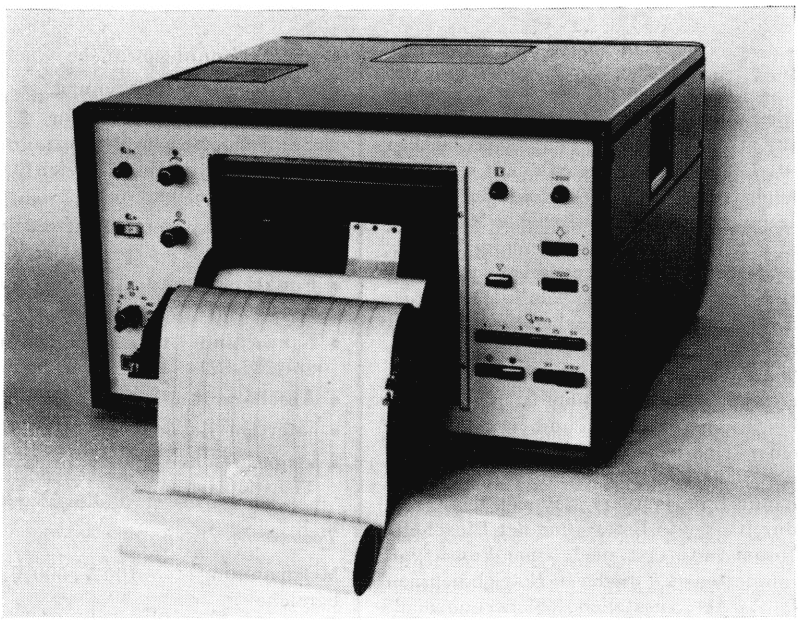
## Transfer von Bilddaten zwischen Floppy-Disk-Einheit und Grauwert-Display

Im Zentralinstitut für Kybernetik und Informationsprozesse (ZKI) der AdW der DDR wurde ein Programmpaket (etwa 5 Kbyte) zur Speicherung und Wiedergabe von Grauwertbildern mit Floppy-Disk-Einheit entwickelt. Die Bilder können ein beliebiges Format innerhalb eines (512 × 512 × 4)-bit-Bildwiederholspeichers des angeschlossenen Grauwert-Displays haben.

Das verwendete Display ist eine Eigenentwicklung des ZKI und wurde mit einem MRES 20 (Version: MEOS 1521 V 3.2/4) gekoppelt. Die Bilddaten werden sektorweise übertragen. Für die Bildkennzeichnung werden Bildformatparameter sowie weitere Angaben in einem Bild-Vorblocksektor zusammengefaßt und gespeichert. Zur Aufzeichnung von Bildausschnitten im freien Format wird die Ausschnitt-Auswahl durch Rahmensetzung auf dem Monitor visualisiert. Abgespeicherte Bilder bzw. Bildausschnitte können bei der Wiedergabe in das Grauwert-Display in ihrer Position variiert werden, sofern das Bildformat diese Bildtranslation zuläßt. Zur Unterstützung der Bildausschnitt-Manipulationen kann wahlweise eine an das MRES 20 angeschlossene Track-Ball-Einheit verwendet werden. Dadurch sind die cursorgesteuerten Koordinaten des Bildanfangspunktes kontinuierlich auf dem Monitor variierbar. Das Programm verwendet Einsprung-Adressen des MRES-20-Betriebssystems für Funktionen der Tastatur sowie der Bildschirm- und Floppy-Disk-Einheit.

Interessenten können sich an das ZKI Berlin, Tel. 20 72 288, wenden.

msr 7693 *K. Fritzsch*



# *Schleifenoszillograf NO 43*

Schleifenoszillografen (Lichtstrahloszillografen) registrieren zeitliche Änderungen elektrischer Vorgänge sowie verschiedener mechanischer, physikalischer, biologischer, chemischer und anderer Vorgänge, die in elektrische umgewandelt werden können. Sie werden bei der Untersuchung von elektrischen Stromkreisen, Schwingungen von Ausrüstungen und Bauwerken, bei Temperatur-, magnetischen und tensometrischen Beobachtungen auf den verschiedenen Gebieten von Technik und Wissenschaft verwendet.

Mit Hilfe einer Optik werden die von den Spiegeln der Meßschleifen reflektierten Lichtstrahlen in der Ebene des Registrierträgers (Fotopapier) in Form von Lichtflecken abgebildet. Der Vorschub des Registrierpapiers mit konstanter Geschwindigkeit senkrecht zur Schwingungsrichtung des Lichtfleckes bewirkt eine Zeitablenkung der zu registrierenden Vorgänge.

Die Aufzeichnung der Oszillogramme erfolgt auf Fotopapier mit Direktentwicklung vom Typ „Registrirujuščaja UF-67" sowjetischer Produktion bzw. auf Ultraviolettpapier verschiedener ausländischer Firmen (Breite des Papiers UF-67 — 200 mm, Papiergeschwindigkeit von 1 bis 1500 mm/s).

Der Zeiteinstellbereich von 0,4 bis 400 s gestattet sparsamen Verbrauch an Registrierpapier besonders bei großen Vorschubgeschwindigkeiten.

Bei Bedarf wird eine Markierung der Oszillogramme durch eine externe Zeitsignalquelle sowie eine Synchronisierung mehrerer Schreiber durch eine einheitliche Zeitskale vorgenommen.

Die vorhandenen Einrichtungen zur Liniierung des Registrierträgers, Bezifferung der Kurven und Auftragung von Zeitmarken von 0,01 bis 10 s über die gesamte Breite des Registrierträgers mit Hervorhebung der Mehrfachmarken durch eine kontrastreichere Linie erleichtern die Bedienung.

Die Oszillografen NO 43 werden in drei Ausführungen hergestellt:

**NO 43.1** — mit zwölf Kanälen,
**NO 43.2** — mit 24 Kanälen,
**NO 43.3** — mit 6 Kanälen;

sie unterscheiden sich voneinander durch die Bauart des Magnetsystemmoduls sowie durch die Anzahl und Parameter der verwendeten Meßschleifen.

Zusatzgeräte, wie die Meßbereichswähler RO 09, RO 10 und das Kanaleichgerät PO 29, gestatten es, hohe Ströme und Spannungen zu registrieren und schützen die Meßschleifen vor Überlastungen.

Große Möglichkeiten bietet dem Experimentator der Oszillograf NO 43.3. Die bei diesem Gerät neben den konventionellen Meßschleifen verwendeten Rechengalvanometer und galvanometrischen Funktionswandler gestatten es, nicht nur sechs verschiedene Vorgänge zu messen, sondern auch eine mathematische Verarbeitung der Signale auszuführen und die Ergebnisse auf Papier zu registrieren.

Die Oszillografen vom Typ NO 43 sind entsprechend den heutigen Forderungen der industriellen Formgestaltung ausgeführt und weisen hohen Bedien- und Wartungskomfort auf. Die Auswechslung der Lampen ist durch Verwendung eines herausnehmbaren Lichtwerfers bequem möglich. Entsprechend ihrer Bauart eignen sich die Oszillografen als transportable Laborgeräte.

Die für die Komplettierung der Oszillografen benötigten Magnetsystemmoduln, Rechengalvanometer, Bereichswähler RO 09 und RO 10, Eichgeräte PO 29, galvanometrischen Funktionswandler sind auf besondere Bestellung in beliebiger Zusammenstellung und Menge lieferbar.

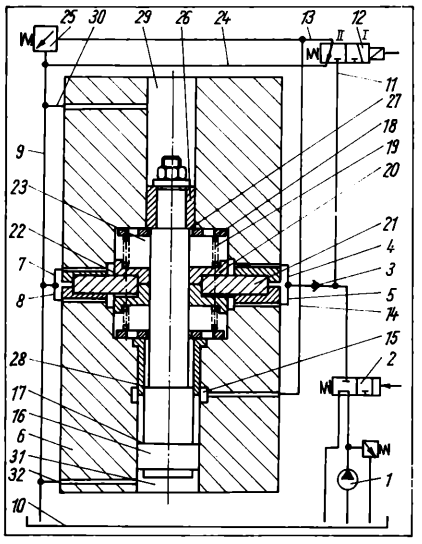
Seit 1981 werden die Oszillografen NO 43 nach der VR Bulgarien und der SR Rumänien geliefert. Anfragen zur Lieferung sind von der SFR Jugoslawien, der ČSSR und von der Republik Kuba eingegangen.

---

**Exporteur: Mashpriborintorg UdSSR,**
**Moskau, 121200**
**Smolenskaja-Sennaja, 32/34**

**Telex: 411235**
**411236**

## Hydraulischer Vibrationsantrieb



*1* Druckstromerzeuger; *2*, *12* Wegeventile; *3* Rückschlagventil; *4*, *5*, *7*, *8* Abzweigleitungen; *6* Vibrationsantrieb; *9* Rückflußleitungen; *10* Ölbehälter; *11* Zuflußleitung; *13*, *14*, *24*, *30*, *32* Leitungen; *15* Ringkanal; *16* Steuerkolben; *17*, *27*, *28* Kolbenringflächen; *18* Teller; *19* Feder; *20* Steuerhülse; *21* Zwischenstück; *22* Auslaßkanal; *23* Kolbenraum; *25* Druckbegrenzungsventil; *26* Kolben; *29*, *31* Leckölräume

DDR-WP 138513, Klasse B 06 B, Gruppe 1/18, 3 Anspruchspunkte, 1 Zeichnung, Anmeldung: 29. August 1978, Ausgabe: 7. November 1979. Inhaber: *P. Prusseit*

Der hydraulische Vibrationsantrieb wird verwendet als Antriebsaggregat für eine in Vibration zu versetzende Masse, z. B. in Verbindung mit einem Meißel als hydraulischer Hammer. Der Vibrator kann auch für Rüttelgeräte und für Arbeitsausrüstungen von Erdbewegungsmaschinen verwendet werden.

Vom Druckstromerzeuger *1* wird die Druckflüssigkeit über das Wegeventil *2*, ein Rückschlagventil *3* und Abzweigleitungen *4*, *5* dem Vibrationsantrieb *6* zugeführt. Die aus dem Vibrationsantrieb *6* austretende Druckflüssigkeit wird über die Abzweigleitungen *7*, *8* und die Rückflußleitung *9* dem Ölbehälter *10* wieder zugeführt.

Die vom Druckstromerzeuger *1* erzeugte Druckflüssigkeit liegt über die Zuflußleitung *11* auch am Wegeventil *12* an. Läuft der Vibrationsantrieb *6* nicht an, dann wird das Wegeventil *12* in Stellung I gebracht. Die Druckflüssigkeit gelangt über die Leitungen *13*; *14* in den Ringkanal *15* und drückt den Steuerkolben *16* durch den Druck auf die Kolbenringfläche *17* nach unten. Über den Teller *18* und die Feder *19* wird die Steuerhülse *20* am Zwischenstück *21* zum Anliegen gebracht. Der Einlaßkanal *21* wird geöffnet, der Auslaßkanal *22* verschlossen. Die in den Kolbenraum *23* einströmende Druckflüssigkeit bewegt den Steuerkolben *16* nach oben, der Vibrationsantrieb läuft an.

Ist der Vibrationsantrieb angelaufen, dann wird das Wegeventil *12* in Stellung II gebracht, wie im Bild dargestellt. Der Ringkanal *15* wird über die Leitungen *14*, *13*, *24* mit der Rückflußleitung *9* verbunden. Der Vibrationsantrieb arbeitet jetzt durch seine innere Steuerung.

Das Druckbegrenzungsventil *25* zwischen der Leitung *13* und der Leitung *9* sichert den Vibrationsantrieb *6* ab.

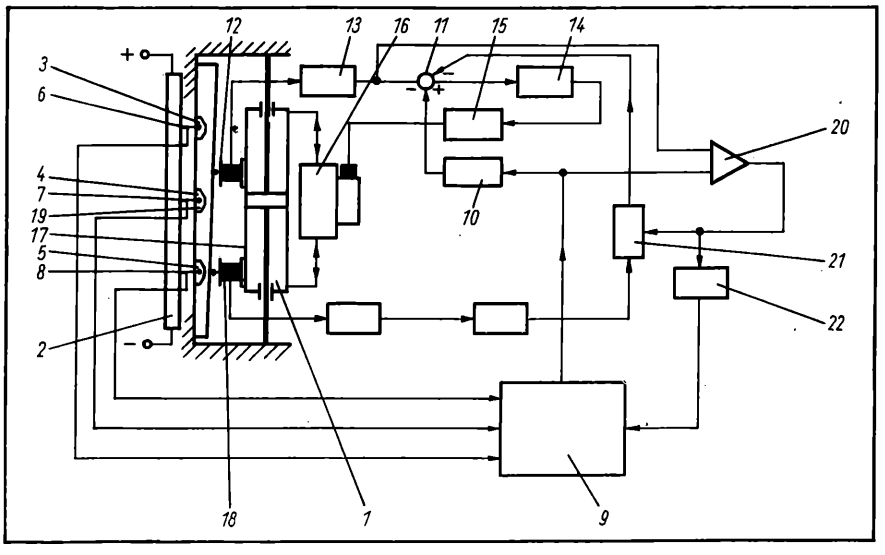
Der Kolben *26* besitzt eine Ringfläche *27*. Die Kolbenringfläche *17* ist so dimensioniert, daß die innere Reibung und die Differenzkraft aus den auf die Kolbenringflächen *27*, *28* wirkenden Druck überwunden werden.

Mit der Rücklaufleitung *9* sind der Leckölraum *29* über die Leitung *30* und der Leckölraum *31* über die Leitung *32* verbunden.

Durch die Erfindung wird der Anlauf des Vibrators ohne eine von außen wirkende Kraft, unabhängig von einer Zufallsstellung, ermöglicht. msr 7672

## Frei programmierbarer Antrieb für nichtnumerisch gesteuerte Manipulatoren

*1* Stellmotor; *2* Widerstandsbahn; *3*, *4*, *5* Zielpositionsgeber; *6*, *7*, *8* Schleifkontakte; *9* Programmgeber; *10* Integrator; *11* Vergleichsglied; *12* Wegaufnehmer; *13* Meßelektronik; *14* Regler; *15* Servoverstärker; *16* Servoventil; *17* Zylinder; *18* Wegaufnehmer; *19* Anlaufschräge; *20* Vergleicher; *21* Koppler; *22* Diskriminator



DDR-WP 140723, Int. Cl. B 25 J 9/00, 3 Anspruchspunkte, 1 Zeichnung, Anmeldung: 18. Dezember 1978. Ausgabe: 26. März 1980. Inhaber: *G. Herklotz*, *S. Müller*, *S. Pfüller*, *D. Reinhold*, *P. Schwalbe*

Die Erfindung betrifft einen frei programmierbaren Antrieb mit einer endlichen Anzahl Positionen für nichtnumerisch gesteuerte Manipulatoren mit gespeicherten Sollwerten und einem Grob- und einem Feinmeßsystem sowie Vergleichsglied, dessen Regelabweichung verarbeitet und an eine Steuereinheit eines Stellmotors angelegt ist. Ziel ist, eine fehlerfreie Istwertbereitstellung, vereinfachte Sollwertbestimmung sowie eine gemeinsame Verarbeitung der Signale des Grob- und Feinmeßsystems zu realisieren. Es wird die Aufgabe gelöst, eine direkte Lage-Signal-Umsetzung mit linear-bezogener Istwertbereitstellung beider Meßsysteme sowie ein mit der Zielpositionsbestimmung automatisch gegebenes einwertiges Sollwertsignal für beide Systeme anzugeben. Die Erfindung sieht entlang der Bewegungsrichtung des Stellmotors *1* eine Widerstandsbahn *2* mit angeordneten Zielpositionsgebern *3*, *4*, *5* vor, die mit Schleifkontakten *6*, *7*, *8* für die Sollwertbildung und Wegumsetzern für das Feinmeßsystem ausgestattet sind. Ein weiterer Wegum-

setzer gehört zum Grobmeßsystem. Beim Soll-Istwertvergleich ist das Feinmeßsystem durch Zielbereich-Schaltung einkoppelbar, und die Regelabweichung wird als Steuerspannung verarbeitet.

Die Wirkungsweise ist folgende: Der von dem Schleifkontakt *7* an den Programmgeber *9* angelegte und bereits vom Programmgeber *9* aufgerufene Sollwert wird in Abhängigkeit von einem Signal (dieses kann sowohl zeitabhängig als auch die Rückmeldung eines anderen abgeschlossenen Arbeitstaktes, z. B. „Greiferzange geschlossen", sein) ausgegeben und somit die Sollwertspannung an den Integrator *10* angelegt. Entsprechend der Rampenwirkung des Integrators *10* liegt die Sollwertspannung am Vergleichsglied *11* an. Die gleichzeitig vom Wegaufnehmer *12* für das Grobmeßsystem über der aufbereitenden Meßelektronik *13* am Vergleichsglied *11* anliegende Istwertspannung wird mit der Sollwertspannung verglichen und die sich ergebende Regelabweichung über den Regler *14* für das Grobmeßsystem und den Servoverstärker *15* als Stromsignal dem Servoventil *16* aufgeschaltet, das den Zylinder *17* des Stellmotors *1* in Richtung der durch Zielpositionsgeber *4* vorgegebenen Stellung steuert. Mit fortschreitender Bewegung des Zylinders *17* auf den Zielpositionsgeber *4* zu nimmt die vom Wegaufnehmer *12* für das Grobmeßsystem am Vergleichsglied *11* anliegende Istwertspannung zu und nähert sich mehr und mehr der vorgegebenen Sollwertspannung an. Ist dieser Bewegungsablauf so weit fortgeschritten, daß der Meßfühler des Wegaufnehmers *18* für das Feinmeßsystem die Auflaufschräge *19* des Zielpositionsgebers *4* erreicht hat, so ist die Spannungsdifferenz der direkt am Vergleicher *20* anliegenden Istwertspannung zur Sollwertspannung so klein geworden, daß diese vom Vergleicher ausgegebene Spannungsdifferenz nach ihrer Betragsbildung im Koppler *21* diesen öffnet und die Istwertspannung des Wegaufnehmers *18* für das Feinmeßsystem stetig einblendend auf das Vergleichsglied *11* schaltet. Die nunmehr am Ausgang des Vergleichsgliedes *11* ausgegebene Regelabweichung führt den Zylinder *17* des Stellmotors *1* bis in die vorgegebene Zielposition des Zielpositionsgebers *4* und wird mit Erreichen dieser Zielposition 0. Die vom Vergleicher *20* ausgegebene und gleichzeitig am Diskriminator *22* anliegende Spannungsdifferenz bewirkt bei Erreichen des vorbestimmten Minimumbereiches die Ansteuerung des Programmgebers *9* vom Diskriminator *22*. Dieses Steuersignal dient als Rückmeldung der angefahrenen Position und ruft im Programmgeber *9* den nächsten Sollwert auf. Mit Ausgabe des neuen Sollwertes wird die am Vergleicher *20* vorliegende Spannungsdifferenz so groß, daß der Koppler *21* gesperrt und damit das Istwertsignal des Feinmeßsystems vom Vergleichsglied *11* abgeschaltet wird.

msr 7522

## Hydraulische Einrichtung zur Steuerung eines Ölstromes einer Spritzgießmaschine

DDR-WP 147136, Klasse F 15 B, Gruppe 11/04. Anmeldung: 29. Oktober 1979, Ausgabe: 18. März 1981. Inhaber: *J. Krauß*

Die Erfindung betrifft eine hydraulische Einrichtung zur Steuerung eines druckunabhängigen, in mehreren Stufen zuschaltbaren Ölstromes aus einem Druckflüssigkeitsspeicher zur Erhöhung der Geschwindigkeit des Spritzkolbens beim Einspritzvorgang einer Spritzgießmaschine. Durch die Erfindung soll die Temperaturabhängigkeit des geregelten Ölstromes weitestgehend beseitigt, der Fertigungs- und Montageaufwand sowie das Bauvolumen klein, der Regelbereich des Ölstromes maximal und der Druckverlust gering gehalten werden.

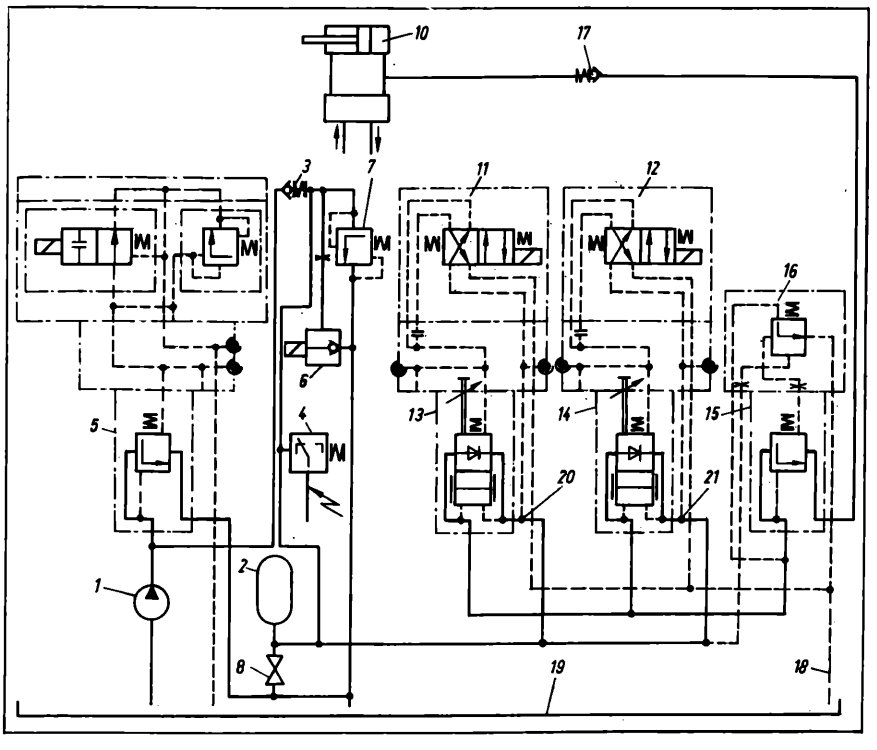
Von einer Konstantpumpe *1* wird der Druckflüssigkeitsspeicher *2* über das Rückschlagventil *3* aufgeladen. Durch eine Schalteinrichtung *4* wird in Verbindung mit einem entlastbaren 2/2-Wegeventil *5*, das gleichzeitig die Funktion eines Druckbegrenzungsventils hat, der Ladezustand des Druckflüssigkeitsspeichers *2* überwacht. Das Rückschlagventil *6*, das Druckbegrenzungsventil *7* sowie das Absperrventil *8* sind sicherheitstechnische Geräte der Steuereinrichtung.

Zur Erhöhung der Geschwindigkeit des Spritzkolbens beim Einspritzvorgang der Spritzgießmaschine wird zusätzlich zu dem über die Steuereinrichtung *9* zur Verfügung stehenden Ölstrom einer nicht dargestellten Hauptpumpe der Ölstrom des Druckflüssigkeitsspeichers *2* zum kolbenseitigen Raum des Spritzzylinders *10* zugeschaltet. Der Ölstrom des Druckflüssigkeitsspeichers *2* gelangt dabei durch Betätigen der 4/2-Vorsteuer-Wegeventile *11* und/oder *12* über die 2/2-Wegeventile *13* und/oder *14*, das Druckdifferenzventil *15* sowie das Rückschlagventil *17* in den kolbenseitigen Raum des Spritzzylinders *10*. Die 2/2-Wegeventile *13*, *14* sind zur Erreichung ihrer Drosselfunktion mit einer entsprechenden Ventilkolbengeometrie und einstellbaren Anschlägen ausgerüstet. Durch unterschiedliche Anschlagwege sind den 2/2-Wegeventilen *13*, *14* $(n^2-1)$ Durchflußströme zugeordnet, wobei $n$ die Anzahl der 2/2-Wegeventile ist.

Beim Durchströmen des vorgesteuerten Druckdifferenzventils *15* setzt die regelnde Funktion dieses Ventils ein. Zur Verringerung des Gesamtdruckverlustes der Ventilkombination wird der Ablauf-Ölstrom des Vorsteuerventils *16* vom Druckdifferenzventil *15* über eine separate Ablaufleitung *18* in den Ölbehälter *19* geführt. Der Abgriff für das Steueröl zum Betätigen der 2/2-Wegeventile *13*, *14* ist direkt an der Druckeingangsleitung *20*, *21* der 2/2-Wegeventile *13*, *14* angeordnet.

msr 7674

***1* Konstantpumpe; *2* Druckflüssigkeitsspeicher; *3*, *6*, *17* Rückschlagventil; *4* Schalteinrichtung; *5*, *13*, *14* 2/2-Wegeventile; *7* Druckbegrenzungsventil; *8* Absperrventil; *9* Steuereinrichtung; *10* Spritzzylinder; *11*, *12* 4/2-Vorsteuer-Wegeventile; *15* Druckdifferenzventil; *16* Vorsteuerventil; *18* Ablaufleitung; *19* Ölbehälter; *20*, *21* Druckeingangsleitungen**



**Mathematical Modelling and Digital Simulation for Engineers and Scientists** (in Russ.) Von *J. M. Smith*. Moskau: Mašinostroenie 1980. 282 Seiten, 99 Bilder, 33 Tafeln.

Ungeachtet der vielen Publikationen gibt es bei der diskontinuierlichen Modellierung noch genügend Probleme, eine universelle Methode existiert nicht. Wesentliches Ziel der Autoren des Buches ist es, indem sie die mathematische Modellierung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Systeme behandeln, den Leser zur Auswahl einer speziellen Methode und zur vorhergehenden Einschätzung ihrer Vor- und Nachteile zu befähigen. Dabei richtet sich das Buch vor allem an Ingenieure und Wissenschaftler, die an der mathematischen Modellierung dynamischer Probleme auf der EDV-Anlage beteiligt sind. Besondere Bedeutung erlangt eine derartige Publikation im Hinblick auf die umfassende Anwendung moderner Mikrorechentechnik, bei der der Anwender um eine ideale Ausnutzung der begrenzten Kapazität bemüht ist.
Die im Buch dargelegten numerischen Methoden werden untersucht bezüglich

- Reihenfolge der Lösung und erforderlichem mathematischem Apparat
- Anwendung der Methodik auf Groß-, Mini- und Mikrorechner
- Vor- und Nachteilen der Methode
- Technologie der Modellentwicklung.

Besondere Bedeutung erlangen dabei praktische Anwendungsprobleme. Nach einer Einführung in die mathematische Modellierung, in die mathematischen Besonderheiten der Beschreibung kontinuierlicher und diskontinuierlicher Prozesse, werden numerische Methoden zur Modellierung linearer Systeme auf dem Digitalrechner ausführlich beschrieben. Vorgestellt werden vor allem spezialisierte Methoden für Mini- und Mikrorechner sowie Tabellen der am häufigsten anzutreffenden Differenzengleichungen zur Modellierung diskontinuierlicher Prozesse. Mit der gleichen Ausführlichkeit enthält das Buch Methoden zur Modellierung nichtlinearer Systeme auf dem Digitalrechner. Ein abschließendes Kapitel behandelt schnelle Modellierungsverfahren. Sie beruhen auf der Tschebyschev-Approximation, der rationellen Polynomentwicklung u. a.

B 1561 *J.-A. Müller*

**Statistics and Experimental Design in Engineering and the Physical Science. Vol. 1** (in Russ.). Von *N. L. Johnson* und *F. C. Leone*. Moskau: Mir 1980. 610 Seiten, 79 Bilder, 81 Tafeln.

Dieser 1. Band behandelt die grundlegenden statistischen Methoden, die bei jeder experimentellen Tätigkeit erforderlich sind. Ausgehend von der Zielstellung, den Experimentator zu befähigen, statistische Verfahren richtig anzuwenden, werden in diesem Buch vor allem die Grundlagenkenntnisse der Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematischen Statistik dargelegt. Von besonderem Interesse sind die vielfältigen Beispiele, die zum Verständnis der statistischen Probleme besonders geeignet sind. Die eigentlichen, für die Planung und Organisation experimenteller Arbeit wichtigen Fragestellungen, wie Dispersionsanalyse, Versuchsplanung u. a., sind im 2. Band enthalten, der demnächst in russischer Sprache erscheinen wird.
Nach einer Einführung in die statistischen Probleme werden Häufigkeitsverteilungen und ihre Kenngrößen behandelt. Mit den grundlegenden Erkenntnissen der Wahrscheinlichkeitstheorie sowie den grundlegenden Eigenschaften der Verteilungsfunktionen diskreter und stetiger Zufallsgrößen sind alle erforderlichen Grundlagen gegeben, um Stichprobenschätzungen, Überprüfung von Hypothesen, Konfidenzintervalle, Signifikanzniveau u. a. darzustellen.
Stärker anwendungsorientiert sind die Abschnitte zu den Kontrollkarten und zu Elementen der statistischen Entscheidungstheorie, die als Beispiele für die Anwendung der mathematischen Statistik bei der Steuerung der Produktion dienen. Die Elemente der statistischen Entscheidungstheorie werden als Illustration der Möglichkeiten zur Vervollkommnung der Prozedur der Schätzung und Kontrolle bei vorhandener A-priori-Information über das Untersuchungsobjekt dargelegt.

B 1560 *K.-H. Winter*

**Halbleiterelektronik.** 5., stark bearbeitete Auflage. Von *A. Möschwitzer* und *K. Lunze*. Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 508 Seiten, 537 Bilder, 38 Tafeln, 35,— Mark.
Bestell-Nr. 552 953 0

Von der Einführung des Transistors bis zum Einsatz hochintegrierter Schaltkreise hat sich die Halbleiterelektronik in extrem kurzen Zeiten explosionsartig entwickelt und ist in viele technische Bereiche eingedrungen, in denen sie konventionelle Verfahren, z. B. bei der Automatisierung von Erzeugnissen der Maschinenbauindustrie, effektiver zu lösen gestattet oder überhaupt erst ermöglicht.
Die Mikroelekronik geht in ihrer Verbreitung weltweit in einem solchen Tempo voran, daß die Fachliteratur, die sich mit den Fragen der Anwendung befaßt, kaum noch Schritt halten kann. Trotz vielfältiger Bemühungen, neue Ergebnisse der Halbleiterelektronik und insbesondere Applikationsbeispiele in Form von Datenbanken zu erfassen, bleibt die Aufgabe der schöpferischen Weiterentwicklung in Forschung und Anwendung. Um so größer ist die Verantwortung bei der Ausbildung von Fachkräften. Es scheint überflüssig zu betonen, daß die Elektronik heute nicht nur in den Fachrichtungen der Grundstudienrichtung Elektroingenieurwesen eine dominierende Rolle spielt. Es ist deshalb zu begrüßen, daß das Lehrbuch „Halbleiterelektronik" in einer 5. und stark überarbeiteten Auflage, in der den neuesten Entwicklungstendenzen Rechnung getragen worden ist, vorgelegt wird. Der erste Abschnitt bietet in der ursprünglichen Form eine ingenieurmäßige Einführung in die Halbleiterphysik. Dabei ist auf eine physikalisch-anschauliche Beschreibung der für die Wirkungsweise elektronischer Bauelemente wichtigen Effekte besonderer Wert gelegt worden. Es folgen Abschnitte zu Halbleiterdioden, Bipolartransistoren und Thyristoren, Feldeffekttransistoren und integrierten Schaltkreisen; Mikrowellen- und optoelektronische Bauelemente sowie Mikrocomputer sind eingeschlossen.
Die Abschnitte 2 bis 5 sind überarbeitet, neu geordnet und zum Teil wesentlich ergänzt. Das trifft insbesondere für den Abschnitt 5 zu, in dem eine geschlossene Darstellung von der Technologie über die digitale und analoge Schaltungstechnik integrierter Schaltkreise, den Entwurf bis zur Anwendung in hochintegrierten Computerschaltkreisen gegeben ist, wegen des großen Umfanges in gebotener Kürze. Die Erfassung der für den Ingenieur wesentlichen Kenntnisse erfolgte in hervorragender pädagogischer Form.

B 1598 *E. Trzeba*

---

(Fortsetzung von S. 585)

von Bauelementen genannt sind. Das internationale Organisationskomitee schätzte die Konferenz als außerordentlich nützlich ein und beschloß, die Konferenz zu einer periodischen Veranstaltung auszubauen. Die auf der Konferenz gehaltenen Vorträge werden in den „Wissenschaftlichen Beiträgen" der IH Dresden und in Fachzeitschriften des In- und Auslandes veröffentlicht.

msr 7687 *Ch. Hahn; H. Hofmann; E. Trzeba*

**Dynamische Optimierung im Gerätebau.** Von *M. Kunze*. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft Geest & Portig K.-G. 1981. 267 Seiten, 233 Bilder, 16 Tafeln, 54,— Mark.

Der Autor hat sich der anspruchsvollen Aufgabe gestellt, konstruktive Elemente und technologische Teilprozesse des Gerätebaus mathematisch zu formulieren, um mit Hilfe der dynamischen Optimierung günstige Varianten für die Fertigung zu ermitteln.
Zunächst werden die Hauptkomponenten des Gerätebaus: Elektronik, Mechanik, Optik, Hydraulik und Pneumatik einheitlich nach folgenden Prinzipien dargestellt naturwissenschaftliche Grundlagen, technische Bedingungen und technologisches Regime. Bei dieser systematischen Vorgehensweise zeigt sich, daß trotz der unterschiedlichen physischen Erscheinungsform Gemeinsamkeiten vorhanden sind, die im zweiten Teil des Buches für das Problem der Aufwandsminimierung des Produktionsprozesses herangezogen werden. Die vorgenommene Modellbildung führt zu Aussagen über optimale Arbeitsbereiche und Parameter, Verfahren und Ausrüstungen sowie zur Entwurfs- und Konstruktionsgestaltung.
Das Buch macht deutlich, daß bereits in der Phase der Entwicklung analytisch-technische Aspekte einbeziehbar sind, die letztendlich über Ökonomie und Gebrauchswert des Gerätes mit bestimmen. So betrachtet ist das Buch nicht nur als ein Grundlagenwerk für eine niveauvolle Konstruktion und Technologie, sondern auch für die vorgelagerte Forschung und Entwicklung anzusehen.

Sowohl vom Umfang als auch von der mathematischen Durchdringung her steht die elektronische Komponente im Vordergrund. Diese Akzentuierung ist bei der zunehmenden Ablösung herkömmlicher Technologien durch mikroelektronische voll gerechtfertigt.
Der Autor versteht es gut, den für Vorlesungen aufbereiteten Stoff übersichtlich und klar darzustellen. Die Ausführung des Buches ist ansprechend.

B 1591 *K. Grubba*

**Bauelemente und Grundschaltungen der Elektronik.** Band 2: Grundschaltungen. Von *W. Bauer* und *H. Wagner*. Reihe Lernbücher der Technik. München/Wien: Carl Hanser Verlag 1981. 247 Seiten, 235 Bilder.

Die Autoren wenden sich an „alle, die bereit sind, logisch und technisch denken zu lernen und Einsicht in die Grundlagen der Elektrotechnik genommen haben. Das können sein: Studenten ..., Facharbeiter ..., Teilnehmer an Weiterbildungskursen ...".
Dem Niveau dieses Leserkreises entsprechend werden grundlegende und weiterführende Kenntnisse über einige Grundschaltungen der Elektronik vermittelt, wobei eine besondere methodische Konzeption angewandt wird: Jede Seite ist in zwei Spalten geteilt. Links wird das zu Lernende mit Worten erklärt, und rechts wird der Lehrstoff „fachwissenschaftlich" in Form von Zeichnungen, Gleichungen, Merksätzen u. dgl. dargestellt.
Auf diese interessante und einprägsame, aber doch wohl etwas volumen- und papieraufwendige Art und Weise wird der Leser mit der Netzgleichrichtung, den Verstärkerschaltungen, dem Operationsverstärker sowie den Oszillatorschaltungen vertraut gemacht. Viele Übungen und ein lernzielorientierter Test am Ende eines jeden Hauptabschnittes gestatten dem Leser in Verbindung mit den auf den letzten Seiten des Buches angegebenen Lösungen eine gute Kontrolle des erworbenen Wissens.
Im ersten Hauptabschnitt (68 S.) werden die Einweggleichrichterschaltung, die Zweiweggleichrichterschaltung und die Brückenschaltung mit ohmscher Belastung sowie die Einweggleichrichterschaltung und die Brückenschaltung mit RC-Belastung — alles Einphasengleichrichtung — behandelt. Danach werden die Spannungsstabilisierung mit Z-Diode, elektronisch stabilisierte Netzgeräte, integrierte Spannungsregler und Konstantstromquellen betrachtet. Der zweite, den (NF-)Verstärkerschaltungen gewidmete Hauptabschnitt (49 S.) ist in die Abschnitte Betriebsarten und Arbeitspunktwahl, Kopplungsarten, Großsignalverstärker, Berechnung eines NF-Leistungsverstärkers und Spezialverstärker sowie den (mit 35 Zeilen in der linken Spalte und einer Gleichung und zwei Bildern in der rechten Spalte etwas mager geratenen) Abschnitt Resonanzverstärker gegliedert. Im dritten Hauptabschnitt geht es auf 79 Seiten um den wichtigen Operationsverstärker als Bauelement — Aufbau, Eigenschaften, Rückkopplung, Kompensation der Eingangsruheströme und der Eingangsoffsetspannung, Messungen (in der Schaltung) als NF-Verstärker, in Spannungs- und Stromstabilisierungsschaltungen sowie in der Steuerungs- und Regelungstechnik. Der vierte Hauptabschnitt (21 S.) enthält LC-Generatoren, Quarzoszillatoren und RC-Generatoren, außerdem elektronische Spannungswandler.
Außer einem etwas dürftigen Hinweis auf die Lehrpläne der „Fachschulen für Technik" in der BRD in der Annotation auf der Rückseite des Buches gibt es keine Begründung für die doch recht eng gehaltene Auswahl des Stoffes aus der Vielfalt der elektronischen Grundschaltungen. Es gibt — außer dem Rückbezug auf den Band 1 (Bauelemente) — auch keinen Ratschlag für den Leser, wie er die bisher erworbenen lückenhaften Kenntnisse abrunden kann. Gleichgültig, welche Gesichtspunkte die Autoren bei der Auswahl des gebotenen Stoffes geleitet haben mögen — das, was dargeboten wird, ist gekonnt, technisch exakt, klar und folgerichtig dargestellt. Auch dem wenig vorgebildeten Leser wird das Begreifen der z. T. recht schwierigen Zusammenhänge durch die pädagogisch geschickte Wahl von Wort und Bild sehr erleichtert.

B 1583 *K.-H. Rumpf*

**Elektro-Aufgaben.** Band I: Gleichstrom. 18., verbesserte Auflage. Von *H. Lindner*. Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981. 159 Seiten, zahlr. Bilder, 7,50 Mark.

Etwas über die Notwendigkeit eines Buches zu schreiben, das nun bereits in der 18. Auflage vorliegt, hieße Eulen nach Athen tragen; für das Verständnis eines Fachgebiets, das mit der Mathematik lebt, ist die Übung entscheidend, und hierfür kann es gar nicht zu viele Aufgaben geben. Sprechen wir also von dem, was in der neuen Auflage geändert wurde und was trotzdem noch verbesserungswürdig erscheint.
Alle Aufgaben und Lösungen werden im Internationalen Einheitensystem (SI) und mit den Begriffen der geltenden Standards behandelt. Dies ist sehr erfreulich. Leider werden diese Begriffe im Gegensatz zur Ankündigung im Vorwort nicht konsequent angewendet. So erscheint auf S. 81, um nur ein Beispiel zu nennen, der völlig unübliche Ausdruck „Verschiebungsladung"; er wird als Synonym für „Ladungsmenge" eingeführt, während der Standard „Ladung" vorschreibt. Und die Aussage auf derselben Seite, daß die Verschiebungsdichte dasselbe sei wie die Ladungsdichte, ist im allgemeinen nicht richtig. Ganz allgemein wäre eine wirklich konsequente Anwendung der standardisierten Termini zu wünschen, insbesondere auch die Verwendung der erstgenannten, wenn mehrere zur Auswahl stehen, z. B. „magnetische Flußdichte" statt „Induktion", weil dieser Ausdruck besonders viel Verwirrung stiftet. Der etwas laxe Umgang mit der Terminologie zeigte sich bereits beim Vergleich von Titel und Inhalt des Buchs: Gehören Induktions- und Schaltvorgänge zum Gleichstrom?
Eine Bemerkung erscheint zu den Formeln angebracht, die den Abschnitten vorangestellt sind. Diese z. T. sehr speziellen Formeln verleiten zu einer kochbuchmäßigen Lösung der Aufgaben, und dies widerspricht ja geradezu der Zielstellung des Buchs. Dieses wendet sich an Studenten der Elektrotechnik, und damit ist wohl nicht vereinbar, wenn auf S. 8 das Ohmsche Gesetz in seinen drei möglichen Umkehrungen angegeben wird. Einige wenige Grundformeln anzugeben, ist sicher sinnvoll, aber aus diesen soll sich der Student dann selbst die weiteren Zusammenhänge herleiten, sonst gelangt er nie zu dem heute notwendigen Niveau.
Auf einen schweren Fehler sei noch hingewiesen: Die auf S. 53 als Durchflutungssatz angegebene Formel gibt einen Zusammenhang zwischen magneti-

schen Größen an, während ja bekanntlich das Durchflutungsgesetz den Zusammenhang zwischen elektrischem Strom und magnetischer Spannung beschreibt.
Insgesamt ist das Buch wegen der Vielfalt seiner Aufgaben jedem Studenten der Elektrotechnik zu empfehlen; es würde aber erheblich gewinnen, wenn es mit einer gewissen „Pedanterie" überarbeitet würde.

B 1601 *G. Odin*

**Programmierbare Taschenrechner in der Elektrotechnik.** Anwendung der TI 58 und TI 59. Von *P. Vaske, F. Dörrscheidt* und *D. Selle.* Stuttgart: B. G Teubner 1981. 425 Seiten, 143 Bilder 32 Tafeln, 129 Beispiele und 40 Programme.

Die verfügbaren leistungsfähigen Taschenrechner sind dem Ingenieur nicht nur ein bequemes Hilfsmittel zur schnellen Lösung seiner täglichen Aufgaben, sondern sie eröffnen ihm darüber hinaus neue Möglichkeiten zur Rationalisierung seiner Arbeiten. Vor allem die programmierbaren Taschenrechner erlauben die Behandlung eines breiten Spektrums von bereits relativ umfangreichen Aufgaben mit neuen Methoden direkt am Arbeitsplatz. Um die Leistungsfähigkeit eines Taschenrechners voll ausschöpfen und seine Grenzen sicher einschätzen zu können, sind vom Anwender Kenntnisse und möglichst auch Erfahrungen auf den Gebieten der numerischen Mathematik, der Algorithmenentwicklung und der rechentechnischen Umsetzung (Programmierung) sowie der Programmeingabe erforderlich. Der Vermittlung solcher Kenntnisse dient das Lehrbuch, in dem wertvolle Hinweise für die zweckmäßige Anwendung programmierbarer Taschenrechner in der Elektrotechnik gegeben und der Einsatz der Rechnertypen TI 58 und TI 59 bei der Lösung einer Vielzahl charakteristischer Aufgaben demonstriert werden.
Im ersten Kapitel werden die Einsatzmöglichkeiten eines Taschenrechners zur Lösung elektrotechnischer Aufgaben, seine Vorteile und Grenzen, der prinzipielle Aufbau sowie die Arbeitsweise und die Besonderheiten der Rechnertypen TI 58 und TI 59 einschließlich der Anwendung von Zubehörteilen und Software-Moduln und die numerischen Anwendungsbereiche behandelt. Hervorzuheben sind die Bemerkungen über den Arbeitsablauf, die „rechenfreundliche" Aufbereitung der Aufgabe, die Auswahl geeigneter Verfahren, die Berücksichtigung des Auftretens von Rundungsfehlern und Verfahrensfehlern, die Programmierung und die Testung.
Anhand von Beispielen wird im zweiten Kapitel die Analyse elektrischer Gleichstromnetzwerke, linearer dynamischer Netzwerke bei sinusförmiger Erregung, die Berechnung des Übergangsverhaltens linearer und nichtlinearer dynamischer Netzwerke und des eingeschwungenen Zustandes bei nichtsinusförmigen Erregungen demonstriert.
Aufgaben aus der Meßtechnik, der elektrischen Energietechnik, der Nachrichtentechnik und der Regelungstechnik sind Gegenstand der Betrachtungen im dritten Kapitel.
Das vierte Kapitel enthält eine Zusammenstellung von 40 beschriebenen Programmen, mit denen die angegebenen Aufgaben aus dem breiten Anwendungsbereich gelöst worden sind.
Diese Programme stellen für den Nutzer eine wertvolle Hilfe dar.
Der besondere Wert des Buches liegt in der Demonstration des Einsatzes eines Taschenrechners für die Lösung der doch recht anspruchsvollen und schon relativ komplizierten verschiedenen Aufgaben. Damit stellt das Buch auch methodisch für diejenigen eine wertvolle Hilfe dar, die programmierbare Taschenrechner anderer Typen besitzen. Offensichtlich setzen die Autoren bei dem angesprochenen breiten Leserkreis keine moderne mathematische Ausbildung voraus, denn für die den angegebenen Programmen zugrunde liegenden numerischen Verfahren gibt es auch andere Varianten, die gegebenenfalls geeigneter sind. So wird beispielsweise zur Lösung linearer Gleichungssysteme nicht mehr die Cramersche Regel (Berechnung von Determinanten), sondern ein Eliminationsverfahren angewendet.
Das Buch ist didaktisch gut aufgebaut und kann allen, die entsprechende Aufgaben zu lösen haben, empfohlen werden.

B 1578 *S. Pilz*

**Armaturen für die Kältetechnik (Reihe: Luft- und Kältetechnik).** Von *P. Kleinschmidt.* Berlin: VEB Verlag Technik 1981. 144 Seiten, 105 Bilder, 6 Tafeln, 18,— Mark.
Bestell-Nr. 552 918 6

Das Buch wendet sich an Anlagenprojektanten, Konstrukteure, in der Praxis und in der Entwicklung tätige Ingenieure und an Studierende der Luft- und Kältetechnik. Der Autor, der seit langem die Entwicklung und Konstruktion der Armaturen für Kältetechnik im VEB Magdeburger Armaturenwerke „Karl Marx" Magdeburg leitet, hat es verstanden, den bisher bekannten Erkenntnisstand allgemeiner und spezieller Art aus vielfältigen Literaturstellen und Einzelbeiträgen sowie bisher unveröffentlichten Hinweisen und Darstellungen in straff gegliederter Form zusammenzufassen.
Da der Einsatz von Armaturen, d. h. von Stelleinrichtungen, Sicherheitseinrichtungen, Rückschlagventilen, Reglern ohne Hilfsenergie mit zugehörigem Stellventil für unterschiedliche Prozeßparameter sowie bestimmtes Zubehör, in Kälteanlagen besonderen Anforderungen unterliegt, ergänzt das Buch das vorhandene schmale Literaturangebot über Stelleinrichtungen für Stoffströme in verfahrenstechnischen Prozessen.
Nach der Formulierung der Forderungen an Kältemittelarmaturen für stationäre Anlagen aber auch für deren Einsatz auf Schiffen, Schienen- und Straßenfahrzeugen werden die Hauptkenndaten und konstruktiven bzw. werkstofftechnischen Grundlagen vermittelt. Bei der Behandlung der einzelnen Armaturengruppen wird meist das Prinzipielle vorangestellt und danach das Besondere und die Einschränkungen bei Kältearmaturen betrachtet. Wertvoll sind auch die Ausführungen zu Zusatzeinrichtungen und Armaturenzubehör, wie Verteilerdüsen, Filter, Filtertrockner und Schaugläser. Die Beschreibungen von Funktionsprinzipien gehen zusätzlich auf die Wechselwirkungen zwischen Regelstrecke, Regeleinrichtung und Stelleinrichtung ein, was für den angehenden Ingenieur von besonderem Nutzen sein wird.
Der gesamte Stoff ist durch Diagramme, Tafeln und Bilder im erforderlichen Umfang ergänzt. Der mit Armaturen vertraute Leser wird jedoch eine Aussage zum Problemkreis der Lärmemission von Armaturen vermissen. Ungeachtet dieser Einschränkung wird eingeschätzt, daß dieses Buch bei seinem fachspezifischen Leserkreis eine gute Aufnahme finden wird.

B 1631 *J. Müller*

**Instrumentation and Automation in the Paper, Rubber, Plastics and Polymerisation Industries** (Proceedings of the 4th IFAC-Conference. Ghent, Belgium, 3. bis 5. Juni 1980). Von *A. van Cauwenberghe.* Oxford/New York/Toronto/Sydney/Paris/Frankfurt: Pergamon Press. 665 Seiten, zahlr. Bilder und Tafeln.

Der Bericht der 4. IFAC-Konferenz über Instrumentierung und Automatisierung in der Papier-, Gummi- und Plaste-Industrie enthält 63 Originalbeiträge und 19 Diskussionsberichte aus verschiedenen Sessionen. Die 63 Beiträge einschließlich der 10 Übersichtsbeiträge beschäftigen sich vorzugsweise mit Anwenderproblemen der Meßtechnik (15), der Identifikation (10) und der Steuerung (40), wobei die Arbeiten im wesentlichen der Papiererzeugung (etwa 40) und der Gummi- und Plaste-Industrie (etwa 25) gewidmet sind.
Folgende Schwerpunkte und Tendenzen sind erkennbar:

- wachsende Anwendung von Prozeßrechnern zur Stabilisierung und Überwachung der Produktion, besonders mit Hilfe verteilter digitaler Regelung in Mikrorechner-Basiseinheiten und übergeordneter Rechner
- höhere Zuverlässigkeit und Sicherheit als Ergebnis der Automatisierung
- hohe Anstrengungen zur Material- und Energieeinsparung sowie für den Umweltschutz

- Automatisierung von Labormeßaufgaben
- Darstellung zahlreicher neuer Methoden für die Prozeßmessung von Stoffeigenschaften (Konsistenz, Feuchte, Konzentration, pH-Wert, Farbe, Geschwindigkeit usw.)
- Mensch-Maschine-Kommunikation und Wartengestaltung
- Automatisierungsbeispiele von Produktionslinien der Papier-, Film- und PVC-Herstellung; Steuerung und Regelung von Mahlwerken, Papiermaschinen, Kalandern, Dampferzeugern, Extrudern usw.
- industrielle Anwendung moderner theoretischer Ergebnisse.

Die Übersichtsvorträge befassen sich mit der Produktionssteuerung, der Prozeßmeßtechnik und der Produktprüfung vor allem in der Papierindustrie sowie mit der Extrudersteuerung, der Modellierung und Steuerung von Polymerisationsprozessen und der Antriebsregelung.
Das Buch ist besonders Verfahrens- und Automatisierungsingenieuren in Forschungseinrichtungen der Industrie und in Hochschulen zu empfehlen.

B 1567 *R. Strietzel*

**Kleine Enzyklopädie Technik.** Herausgeber: *J. Jentzsch, H.-D. Junge, G. Kohblanck* und *H. Schubert.* Leipzig: VEB Bibliographisches Institut 1981. 752 Seiten, 1000 Strichzeichnungen, 80 einfarbige und 16 mehrfarbige Bildtafeln, 18,— Mark.

Als Band der Reihe „Kleine Enzyklopädie" gibt das populärwissenschaftliche Buch einen Überblick über aktuelle Teilgebiete der Technik. 20 Kapitel — verfaßt von 77 Fachautoren — bieten interessierten Laien die Möglichkeit zum Erwerb vielseitiger technischer Kenntnisse und erfahrenen Fachleuten aussagefähige Quellen zur Information über Nachbargebiete ihrer eigenen Branchen. Berichtet wird über Bergbau, Energietechnik, Metallurgie, Chemietechnik, Technik der Hochpolymere, Silikattechnik, Holz-, Zellstoff- und Papiertechnik, Fertigungstechnik, Maschinenelemente-Hydraulik-Pneumatik, Fördertechnik, Elektrotechnik, Feinmechanik-Optik-Medizintechnik, Meßtechnik, Automatisierungstechnik, Bautechnik, Technik der Verkehrsmittel, polygrafische Technik, Verpackungstechnik, Textil- und Bekleidungstechnik und Ledertechnik. Jedes Kapitel enthält eine Präambel mit wesentlichen, umreißenden Vorbemerkungen; zahlreiche Abschnitte innerhalb der Kapitel beschreiben geschickt ausgewählte Details über Grundlagen und allgemein interessierende, aktuelle Spezialgebiete mit ausgewogener Ausführlichkeit. Zum Beispiel findet man im Kapitel „Elektrotechnik" Aussagen über elektrische und magnetische Grundgesetze sowie über Mikro- und Optoelektronik u. a. m. oder im Kapitel „Automatisierungstechnik" Grundsätzliches zu Übertragungsgliedern sowie längere Darstellungen zur modernsten Rechentechnik u. a. m. Nach diesem Prinzip sind alle Kapitel gestaltet. Einfarbige Fotos und ausführliche Farbtafeln tragen zu hoher Faßbarkeit des Dargebotenen bei. Ein ausführliches alphabetisches Register macht das rasche Auffinden zuverlässiger Antworten auf unzählige Fragen möglich. Trotz unterschiedlicher Tiefe der einzelnen Abschnitte und fragmentarischer Erfassung der Gesamtproblematik ist es den Verfassern gelungen, ein sehr nützliches Bildungs- bzw. Nachschlagewerk zur Technik der klassischen Bereiche bis zu modernsten Gebieten, wie Laser- und Lichtleitertechnik, Synthesefasertechnik, Fertigteil- und Raumzellenbauweise, Kernenergieerzeugung, Wasser-, Luft- und Raumfahrt u. a., mit wissenschaftlicher Exaktheit zu schaffen. Der stärker Interessierte kann sich hieran anknüpfend mit Hilfe allgemeiner und technischer Lexika bzw. entsprechender Fachliteratur ohne Umschweife wunschgemäß tiefer in die Probleme einarbeiten.

B 1593 *H. Rohr*

**Lexikon der Text- und Datenkommunikation.** Begriffe — Abkürzungen — Kurzwörter. Von *W. Mache.* München/Wien: R. Oldenbourg Verlag 1980. 374 Seiten.

Das Lexikon enthält über 2000 Begriffe zu diesem immer bedeutsamer werdenden Gebiet, das zunächst die postalischen Belange wie Fernmelde-, Fernschreib- und Fernsprechtechnik umfaßt, zu dem aber auch immer mehr Datenübertragung und Nachrichtensatelliten gehören. Weiter dringen hier mit der rasanten Entwicklung der Mikroelektronik auch die Heimcomputer und somit Videotexttechniken ein. Diese Aufzählung deutet natürlich nur an, was in dieses Lexikon aufgenommen wurde. Da es nur von einem Autor, wenn auch in langer und mühevoller Arbeit, zusammengestellt wurde, gibt es natürlich besondere Stärken und einige Schwächen. Sie sind, wie bei jedem Lexikon, nur nach längerem Gebrauch aufzufinden. Vom Rezensenten konnten in der zur Verfügung stehenden Zeit nur Stichproben gemacht werden. Sie weisen sofort aus, daß auch Belange des sozialistischen Lagers berücksichtigt wurden, z. B. sind enthalten: AEROFLOT, Intersputnik und TASS; ADN dagegen nur unter Nachrichtenagenturen. Am vollständigsten ist das Lexikon bezüglich Abkürzungen. Als Beispiel S. 227 und S. 228: RFT, RGA, RGW, RIAR, RITA, RNTD, RO, ROBEX, ROBOTRON, Roll-Modus, RR Radio, Regulations, RS, RSFTA, RTT, RTTY. Relativ kurz kommen dagegen Begriffe und Namen. So wurden z. B. gefunden: *Gauß, Hell, Hertz,* nicht dagegen: *Faraday, Shannon.* Obwohl Begriffe wie Videotext, Computer, PROM usw. vorkommen, wurden die spezielleren Gebiete der Rechentechnik, wie Programmieren und Sprachen, wie BASIC, ALGOL, LISP usw. nicht aufgenommen.
Summarisch entsteht beim Rezensenten der Eindruck, daß der Autor hier ein nützliches Werk vorlegt, das in den meisten Fällen, vor allem aber bei Abkürzungen, gewinnbringend verwendet werden kann.

B 1506 *H. Völz*

**Unterhaltsames über die Automatik.** Von *I. I. Garmasch.* Moskau: MIR und Leipzig: VEB Fachbuchverlag 1981. 176 Seiten, 127 Bilder, 5.50 Mark.

Die Broschüre bietet eine interessante populärwissenschaftliche Einführung in die Automatisierungstechnik.
Im Kapitel 1 wird anhand zahlreicher Beispiele von „Automaten des Altertums" die Entwicklungsgeschichte von einfachsten selbsttätigen Vorrichtungen mit Meßfühlern, Stellgliedern und natürlichen Antrieben bis zu automatischen Systemen mit programmgebenden Steuerelementen und Nutzung des Rückkopplungsprinzips veranschaulicht. Das 2. und 3. Kapitel erläutern die Weiterentwicklung der Automatisierungspraxis in der Zeit vom 18. Jahrhundert bis zur Gegenwart an ausgewählten Beispielen: Fliehkraftregler, Anfänge der Regelung thermodynamischer Prozesse, Fernsteuerung, Lochstreifen-Programmsteuerung, Überwachungseinrichtungen, automatisierte Fertigungsstraßen, pneumatische Automatisierungsmittel, Automatik im Weltraumschiff, von ASUTP bis OGAS, automatisierte Bibliothek, der Computer als Gehirn automatischer Systeme. Im Kapitel 4 wird der Leser zu aktiver Denkarbeit aufgefordert (Fehlersuche anhand von Konstruktionsskizzen für Produktionsautomaten, Vervollständigung von Sortierautomaten, Dimensionierung von Regelungseinrichtungen, Informationsgewinnung aus kodierten Datenträgern), während im Kapitel 5 zahlreiche Anregungen zum Eigenbau von Automatisierungseinrichtungen gegeben werden (Meldeeinrichtungen, Temperatur- und Füllstandsregelungen, Langsamläufer-Motor, Automatik für Angler und Fotoamateure u. a.). Das Kapitel 6 ist Robotern gewidmet (Androide, Industrieroboter, Manipulatoren und Handhabeeinrichtungen, „elektronische Krankenschwester", Lunochod). Das Schlußkapitel 7 erlaubt einen „Blick ins 21. Jahrhundert". Das kleine Buch vermittelt in sehr anschaulicher und unterhaltsamer Weise (127 Bilder!) wesentliche Kenntnisse über Geschichte, Stand und perspektivische Aufgaben der Automatisierungstechnik. Beim Leser werden keine speziellen Vorkenntnisse vorausgesetzt. Das Buch ist insbesondere jugendlichen Lesern als erste Einführung in die Automatisierungstechnik zu empfehlen. Aber auch der Fachmann wird aus dem Werk aufgrund der Vielseitigkeit der ausgewählten Beispiele Nutzen ziehen können.

B. 1615 *K. Reinschke*

Hierbei handelt es sich um neue Titel aus der UdSSR, die dem sowjetischen Neuerscheinungsdienst „Novye knigi" entnommen sind. Die Bücher können über den Volksbuchhandel bestellt werden.

[1] Upravlenie chimičeskoj promyšlennosti (Steuerung der chemischen Industrie). Chimija. 4. Quart. 1983. NK-No. 9–82 (57).

[2] *Šapiro, Ju. Z.:* ASU chimičeskimi proizvodstvami (ASU der Chemieproduktion). Chimija. 1. Quart. 1983. NK-No. 9–82 (58).

[3] *Azizov, A. M.:* Informacionnye sistemy kontrolja parametrov technologičeskich processov (Informationssysteme zur Kontrolle der Parameter technologischer Prozesse). Chimija. 1. Quart. 1983. NK-No. 9–82 (61).

[4] *Perlov, E. I.; Bagdasarjan, V. S.:* Optimizacija proizvodstva azotnoj kisloty (Optimierung der Produktion von Salpetersäure). Chimija. 4. Quart. 1983. NK-No. 9–82 (77).

[5] *Peršic, R. Ja.:* Upravljaemost' i upravlenie sudnom (Steuerbarkeit und Steuerung eines Schiffes). Sudostroenie. 3. Quart. 1983. NK-No. 9–82 (142).

[6] *Sacharov, V. V.:* Rasčet optimal'nych reguljatorov sudovych avtomatičeskich sistem (Berechnung optimaler Regler von automatischen Schiffssystemen). Sudostroenie. 2. Quart. 1983. NK-No. 9–82 (149).

[7] Laboratornyj praktikum po osnovam inženernoj psichologii (Laborpraktikum zu den Grundlagen der Ingenieurpsychologie). Vysš. škola. 2. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (21).

[8] *Arzamascev, D. A.; Bartolomej, P. I.; Choljan, A. M.:* ASU i optimizacija režimov energosistem (ASU und Optimierung der Regime in Energiesystemen). Vysš. škola. 1. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (91).

[9] *Nikitenko, A. G.:* Avtomatizirovannoe proektirovanie električeskich apparatov (Automatisierte Projektierung elektrischer Apparate). Vysš. škola. 3. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (93).

[10] *Efimov, I. E.; Kozyr', I. Ja.:* Osnovy mikroelektroniki (Grundlagen der Mikroelektronik). Vysš. škola. 1. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (97).

[11] Avtomatizacija technologičeskich processov legkoj promyšlennosti (Automatisierung technologischer Prozesse der Leichtindustrie). Vysš. škola. 2. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (102).

[12] *Anisimov, B. V.; Kurganov, V. D.; Zlobin, V. K.:* Raspoznavanie i cifrovaja obrabotka izobraženij (Mustererkennung und digitale Verarbeitung von Darstellungen). Vysš. škola. 1. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (103).

[13] *Železnov, I. G.:* Složnye techničeskie sistemy (ocenka charakteristik) (Komplizierte technische Systeme (Kenngrößenschätzung)). 4. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (105).

[14] *Norenkov,* k. *P.; Maničev, V. B.:* Sistemy avtomatizirovannogo proektirovanija elektronnoj i vyčislitel'noj apparatury (Systeme zur automatisierten Projektierung elektronischer und rechentechnischer Apparaturen) Vysš. škola. 2. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (106).

[15] Osnovy avtomatizacii upravlenija proizvodstvom (Grundlagen der Automatisierung der Steuerung der Produktion). Vysš. škola. 4. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (107).

[16] Rukovodstvo po proektirovaniju sistem avtomatičeskogo upravlenija (Leitfaden zur Projektierung von Systemen der automatischen Steuerung). Vysš. škola. 1. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (108).

[17] Teorija avtomatičeskogo upravlenija (Theorie der automatischen Steuerung). Vysš. škola. 1. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (110).

[18] *Daščenko, A. I.; Belousov, A. P.:* Proektirovanie avtomatičeskich linij (Projektierung automatischer Linien). Vysš. škola. 3. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (111).

[19] *Jariv, A.:* Vvedenie v optičeskuju elektroniku (Einführung in die Optoelektronik. Übers. aus dem Engl.). Vysš. škola. 2. Quart. 1983. NK-No. 10–82 (255).

[20] Proektirovanie sistem avtomatizacii v metallurgii (Projektierung von Systemen der Automatisierung in der Metallurgie). Metallurgija. 1. Quart. 1983. NK-No. 11–82 (20).

[21] *Belen'kij, A. A.:* Matematičeskoe modelirovanie i optimizacija processov lit'ja i prokatki cvetnych metallov (Mathematische Modellierung und Optimierung der Gieß- und Walzprozesse von Buntmetallen). Metallurgija. 3. Quart. 1983. NK-No. 11–82 (97).

[22] *Čičenev, N. A.:* Avtomatizacija eksperimental'nych issledovanij (Automatisierung experimenteller Untersuchungen). Metallurgija. 1. Quart. 1983. NK-No. 11–82 (178).

[23] *Žarkovskij, B. I.:* Pribory avtomatičeskogo kontrolja i regulirovanija (ustrojstvo i remont) (Geräte der automatischen Kontrolle und Regelung (Anlagen und Reparatur)). Vysš. škola. 4. Quart. 1983. NK-No. 11–82 (235).

[24] *Pranjavičjus, G. I..* Algoritmy postroenija matematičeskich modelej informacionno-vyčislitel'nych sistem (Algorithmen zur Entwicklung mathematischer Modelle rechentechnischer Informationssysteme). Mosklas (LitSSR). 4. Quart. 1982. NK-No. 12–82 (6).

[25] Matematiko-geografičeskoe modelirovanie territorial'nych sistem (Mathematisch-geografische Modellierung territorialer Systeme). Izd-vo Kazan. un-ta. 2. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (17).

[26] *Traub, Dž.; Voznjakovskij, Ch.:* Obščaja teorija optimal'nych algoritmov (Allgemeine Theorie optimaler Algorithmen). Mir. 1. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (49).

[27] *Ekland, I.:* Elementy matematičeskoj ekonomiki (Elemente der mathematischen Ökonomie). Mir. 4. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (57).

[28] *Givone, D.; Rosser, R.:* Mikroprocessory i mikrokomp'jutery (Mikroprozessoren und Mikrocomputer. Übers. aus dem Engl.). Mir. 4. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (181).

[29] *Koffron, Dž.:* Techničeskie sredstva mikroprocessornych sistem (Technische Mittel von Mikroprozessorsystemen. Übers. aus dem Engl.). Mir. 3. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (183).

[30] *Mik, Dž.; Brik, Dž.:* Proektirovanie mikroprocessornych ustrojstv razrjadno-modul'noj organizaciej (Projektierung von Mikroprozessoranlagen mit Modulorganisation. Übers aus dem Engl.). Mir. 2. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (185).

[31] *Titce, U.; Šenk, K.:* Poluprovodnikovaja schemotechnika (Halbleiterschaltungstechnik). Mir. 1. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (186).

[32] *Chenderson, P.:* Funkcional'noe programmirovanie (Funktionelle Programmierung. Übers. aus dem Engl.). Mir. 4. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (187).

[33] *Chorovic, P.; Chill, U.:* Iskusstvo schemotechnik (Kunst der Schaltungstechnik). Mir. 4. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (188).

[34] Elektronno-lučevaja technologija v mikroelektronika (Elektronenstrahl-Technologie in der Mikroelektronik. Übers. aus dem Engl.) Mir. NK-No. 13–82 (189).

[35] Metody avtomatičeskogo raspoznavanija reči (Methoden zur automatischen Erkennung der Rede. Übers. aus dem Engl.). Mir. 2. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (190).

[36] *Nigmatullin, R. G.:* Složnost' bulevych funkcij (Kompliziertheit Boolescher Funktionen). Izd-vo Kazan. un-ta. 4. Quart. 1983. NK-No. 13–82 (191).

msr 7692

## The Modelling and Control of National Economies

Vom 17. bis 19. Juni 1983 führen IFAC/IFORS in Washington ihre 4. Konferenz zur o. g. Themenstellung durch.
Ziel der Konferenz ist die Diskussion der jüngsten Fortschritte in Theorie, Rechenalgorithmen und empirischen Studien von Planungs- und Steuermodellen der Volkswirtschaft, von Sektoren und Regionen, als geschlossene oder offene makroökonomische Systeme. Schwerpunkte sind dabei:

- volkswirtschaftliche Planungsmodelle
- Makroökonomie offener Ökonomien
- Studien zur gegenseitigen Abhängigkeit von Volkswirtschaften
- Effektivität von monetären, fiskalischen und anderen Instrumentarien der Regierungspolitik
- Interface zwischen Modellierer und (politisch) Entscheidendem; Implementierungsaspekte
- sektorale und regionale Modelle
- Risiko-Effekte
- ökonomische Prognose und Schätzung
- Rechenalgorithmen und Software für Identifikation und Steuerung makroökonomischer Modelle
- Spiele und Konfliktbeseitigung.

Die Organisation der Veranstaltung liegt in den Händen der „Control Systems Society" des „Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)". Vortragsmeldungen (Langfassung) müssen bis November 1982 erfolgen an:
Dr. *M. Canzoneri*, 4th Conference on Control of National Economies, Board of Governors of the Federal Reserve Systems, Washington, D. C. 20551, USA.

## Jahrestagung der WGMA 1982

Unter dem Hauptthema „Automatisierungstechnik" findet am 23. und 24. November im Hygienemuseum Dresden die Jahrestagung der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) mit internationaler Beteiligung statt. Inhaltliche Schwerpunkte sind:

- Anwendung nichtkonventioneller Regelalgorithmen
- Stand und Tendenzen der Programmierung von Mikrorechnern
- Aufgaben und Probleme bei der Entwicklung der Anlagenautomatisierung
- Anwendung digitaler verteilter Automatisierungssysteme in verfahrenstechnischen Großanlagen.

Zusätzlich wird eine ausführliche Auswertung des 9. IMEKO-Weltkongresses vorgenommen.

Auskünfte erteilt:
KDT-Präsidium, WGMA, 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117, Telefon 2202531, App. 216, 218.

## Fachtagung „Meßwerterfassungssysteme und Sensoren für die Industrierobotertechnik und Prozeßsteuerung in der chemischen Industrie"

Der FUA Meß- und Gerätetechnik im Fachverband Chemische Technik der KDT veranstaltet am 27. Oktober 1982 im Klubhaus „Freundschaft" des Kombinates VEB Chemische Werke Buna die o. g. Fachtagung.
Vorgesehene Vortragsthemen:

- Tendenzen der digitalen Meßwerterfassungssysteme
- Probleme und praktische Erfahrungen bei der Betriebsmessung elementarer verfahrenstechnischer Vorgänge und Teilchen
- komplexe Steuerung von Separatoren mit Hilfe der Mikroelektronik
- Erfahrungen und Erkenntnisse mit Meßwerterfassungssystemen bei der Kleinautomatisierung
- Wirkprinzipien monolithisch integrierter Halbleitertemperaturmeßfühler
- Probleme der Einsatzvorbereitung einer Steuerung PS 2000 bei der Rekonstruktion eines chemischen Chargenprozesses
- Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung von Rohren und Behältern durch Anwendung der Mikroelektronik
- praktische Erfahrungen bei der Entwicklung und Inbetriebnahme der Peripherie zu einem Industrieroboter ZIM 60.

Interessenten wenden sich bitte an: VEB Chemische Werke Buna, Abt. TRG, C34, Dipl.-Phys. *H. Iltzsche*, 4212 Schkopau, Telefon: Merseburg 497358.

## VIII. Problemseminar ASUTP

Das Weiterbildungszentrum Mathematische Kybernetik und Rechentechnik/Informationsverarbeitung der TU Dresden veranstaltet vom 10. bis 14. Januar 1983 im TU-Heim Gaußig das o. g. Seminar (Leitung Prof. Dr. sc. techn. *H. Stahn*). Es ist gekoppelt mit der Jahrestagung der FR Simulation und Parallelverarbeitung der HFR Informationsverarbeitungssysteme.
Das Seminar soll ein Erfahrungsaustausch zwischen Vertretern von Arbeitskollektiven aus Betrieben und aus dem Hochschul- und Akademiebereich sein, die auf dem Gebiet der Automatisierung diskreter technologischer Prozesse Forschungsarbeit leisten. Hauptgegenstände sind:

- Simulationstechnik als modernes Arbeitsmittel und als Arbeitsgegenstand
- Anwendung der Simulationstechnik zur Analyse und Projektierung von Steuerungssystemen diskreter technologischer Prozesse
- Simulationstechnik als Element von Echtzeit-, Planungs- und Steuerungssystemen diskreter technologischer Prozesse
- Steuerungssysteme für die Kleinserienfertigung im Maschinenbau und in der Elektrotechnik.

Organisatorische Auskünfte erteilt: Dr.-Ing. *E. Schmidt*, TU Dresden, Sektion Informationsverarbeitung, 8027 Dresden, Mommsenstr. 13, Telefon 6079391.

## 6. Zuverlässigkeitstagung

Der Fachverband Elektrotechnik der KDT, Wissenschaftliche Sektion Qualitätssicherung und Zuverlässigkeit, veranstaltet am 21. und 22. April 1983 in Leipzig, Brühlzentrum, seine 6. Zuverlässigkeitstagung mit internationaler Beteiligung. Folgende Schwerpunkte werden behandelt:

- theoretische Grundfragen der Zuverlässigkeitstechnik; Zuverlässigkeitsbewertung, -optimierung, -prognose
- experimentelle Ermittlung von Zuverlässigkeitskenngrößen und Ausfallursachen; statistische Methoden, physikochemische Methoden, Fehlerdiagnose
- Fertigungsprozeß und Erzeugniszuverlässigkeit; Frühausfälle, Lagerung, Transport, Bedienung
- Zuverlässigkeit unter Umgebungsbeeinflussung; Ausfallmechanismen, Prüftechnik, Erzeugnisoptimierung.

Anfragen und Teilnahmemeldungen sind zu richten an:

KDT-Präsidium, Fachverband Elektrotechnik, 1086 Berlin, Clara-Zetkin-Str. 115/117, Telefon 2202531, App. 215, 216.

## Eichplatten aus Stein

Äxte oder Speerspitzen aus hartem Gestein waren für unsere Vorfahren wichtige Werkzeuge und Gebrauchsgegenstände. Aber auch in unserer modernen Zeit kann für bestimmte Werkzeuge auf diesen Rohstoff nicht verzichtet werden.

So werden z. B. von einer sowjetischen Werkzeugfabrik in Stavropol im Nordkaukasus Eichplatten aus Stein gefertigt.
Eichplatten sind metrologische Instrumente, mit deren Hilfe in hoher Präzision bestimmt werden kann, wie weit ein Erzeugnis der geforderten geometrischen Form entspricht. Vorher wurden diese Platten aus Gußeisen gefertigt. Dieser Werkstoff weist jedoch Eigenschaften auf, die für den gewünschten Zweck nachteilig sind, z. B. Wärmedehnung, Magnetismus, Korrosionsanfälligkeit. Die Bearbeitung des Gesteins erfolgt mit Diamant-Werkzeugen. Das Stavropoler Werk hat inzwischen moderne Technologien der Hochpräzisions-Steinbearbeitung entwickelt, die das Weltniveau auf diesem Gebiet mitbestimmen. So wird z. B. mit Reibpulvern und -pasten eine ideal ebene Oberfläche erzeugt. Die Präzision der Arbeit wird durch Mikrometer, Indikatoren und — bei der Endfertigung — durch ein lichtempfindliches Meßgerät, einen sog. Autokollimeter, ständig überwacht. Als Material kommen nur ganz besondere Granitarten aus bestimmten Gebieten der UdSSR in Frage.

(aus „Pravda" vom 29. März 1982)

## Automatische Warnanlage für Gleisarbeiten

Von der Fa. AEG-Telefunken wurde ein automatisches Warnsystem entwickelt, das Gleisarbeitern herannahende Züge ankündigt. Bis 3 km von den Gleisarbeiten entfernt werden Detektoren mit wenigen Handgriffen an der Schiene angebracht, die richtungsabhängige und gleisselektiv nahende Züge erfassen. Die Informationen werden über Draht an eine Außenstelle des Meldesystems übertragen, dort in digitale Telegramme umgewandelt und über Funk an die Zentrale des Systems abgestrahlt, die sich direkt bei den für die Gleisarbeiter verantwortlichen Sicherheitsposten befindet. Blinkzeichen zeigen Gleis und Richtung des ankommenden Zuges an, zusätzlich ertönt ein akustisches Signal. Daraufhin löst der Sicherheitsposten die Warnung für die Gleisarbeiter aus. Die Anlage beinhaltet ein eigenes Fehlerüberwachungssystem.

(ADN-BWT (18) 1482, 6c)

## Gerät erkennt Risse

Oberflächenrisse an Bauteilen bestimmter Stähle können mit dem Prüfgerät WTR 1 zerstörungsfrei nachgewiesen werden. Auch die Tiefe der Risse läßt sich bei entsprechender Geräteanpassung an das Prüfproblem abschätzen. Entwickelt wurde das 3,5 kg schwere Gerät von der Fa. *Maass* in Demmin.
Die Oberflächenrißprüfung ist je nach Ausführung der Tastsonden an ebenen Flächen, Rundungen, in Bohrungen und an/auf Kanten ferromagnetischer und nichtferromagnetischer Werkstoffe möglich. Das WTR 1 arbeitet nach dem Wirbelstromverfahren mit Tastspule: Die von einem hochfrequenten Wechselstrom durchflossene Prüfspule wird berührend über die zu prüfende Oberfläche geführt. Befindet sich in der Oberfläche ein Riß, ändert sich das Wirbelstromfeld und beeinflußt die Spulenimpedanz. Die Größe der Impedanzänderung ist ein Maß für die Rißtiefe. Risse lassen sich mit diesem Verfahren ab etwa 0,1 mm Tiefe bei polierter Oberfläche nachweisen. Die Rißtiefenbestimmung ist in Abhängigkeit vom Sondentyp im Bereich von etwa 0,1 bis 10 mm Rißtiefe möglich.
Das Gerät wurde von der Zentralen Prüf- und Entwicklungsstelle des Verkehrswesens getestet und wird bei der Deutschen Reichsbahn eingesetzt.

(ADN-BWT (19) 1499-6a)

## Luftdruck elektronisch gemessen

Ein elektronisches Barometer, das jeweils im Abstand von 1 min den Luftdruck ermittelt und auf 1 mbar genau digital anzeigt, ist in den anwendungstechnischen Labors von Siemens entwickelt worden. Das Barometer ist noch nicht im Handel, sondern stellt vorerst ein Beispiel für die Anwendnug eines neuartigen Drucksensors und der zugehörigen Elektronik dar. An die Stelle der herkömmlichen Membrandose, deren Verformung mechanisch auf einen Zeiger übertragen wurde, tritt eine dünne Siliziummembran. Auf diesem Halbleitermaterial befinden sich 4 elektrische Widerstände, die durch Eindiffundieren von Fremdatomen erzeugt werden. Beim Durchbiegen der Membran ändert sich infolge der mechanischen Kräfte der Wert dieser Widerstände. Mit einer Brückenschaltung werden die Veränderungen erfaßt und elektronisch ausgewertet. Eine Flüssigkeitskristallanzeige gibt schließlich den Druck in mbar an.

(ADN-BWT (19) 1498-11c/2)

## Flüssigkeitsstand-Meßgeräte

Der Flüssigkeitsstand von Chemikalien in Druckbehältern und auch in drucklosen Behältern läßt sich von Meßgeräten einer neuentwickelten Baureihe mit einer Genauigkeit von $\pm 2$ mm bei einer maximalen Meßhöhe von 11 m ablesen. Die Geräte mit der Systembezeichnung „maglink 5400" der Fa. Brooks Instrument haben eine Zulassung für explosionsgefährdete Bereiche und erfordern keine Eichung. Sie arbeiten mit einer Kraftflußkopplung zwischen einem Schwimmermagneten und einem im Führungsrohr beweglichen Folgemagneten.

(ADN-BWT (18) 1487-10c/3)

## Glasfasern — sauber geschnitten

Ein sauberes Abschneiden von Glasfasern für Lichtwellenleiter soll durch ein neues Verfahren des Philips-Forschungslabors in Eindhoven garantiert werden. Die Schnittflächen sind dabei plan und genau rechtwinklig.
Bei den bisherigen Trennmethoden werden die Fasern angeritzt und gebrochen. Dabei entstehen meist unebene Endflächen mit unregelmäßigen Muschelformen, die das aus der Faser austretende Licht zerstreuen und damit die Durchgangsdämpfung erhöhen. Auch das Abschmelzen führt zu ungünstigen Formen des Faserendes. Bei dem neuen Philips-Verfahren werden die Fasern durch einen rotierenden Diamanten rings um die Trennstelle gleichmäßig angeritzt und dann gezogen. Dabei sollen die Fasern an der Ritzstelle mit einer völlig glatten Bruchfläche abreißen.

(ADN-BWT (18) 1491/1493-5c)

## Bessere Transistoren aus Galliumarsenid

Transistoren mit höherer Schaltgeschwindigkeit sowie andere Bauelemente lassen sich besser aus dem Halbleitermaterial Galliumarsenid als aus Silizium herstellen. Dies liegt an der größeren Beweglichkeit der elektrischen Ladungsträger. Zum Bau dieser Elemente gibt es jedoch noch keine entsprechend billigen Verfahren. Auch das Einbringen von Fremdstoffen, das Dotieren, durch das sich die elektrischen Eigenschaften des Materials verändern lassen, bereitet noch Schwierigkeiten. Inzwischen ist an der Universität Duisburg ein neues Verfahren entwickelt worden, bei dem eine spezielle Emulsion aus Kieselsäureester verwendet wird, die die gewünschten Fremdsubstanzen für die Dotierung enthält. Dadurch konnten im Versuch Feldeffekt-Transistoren und Schottky-Dioden hergestellt werden. Zu diesem Zweck wurde die Spezialemulsion auf das Galliumarsenid aufgebracht und hoher Temperatur ausgesetzt. Dabei entsteht eine dichte Siliziumoxydschicht, aus der die Dotierungsatome in das Halbleitermaterial diffundieren. Das Siliziumoxyd dient zugleich als Schutzschicht, die eine Beschädigung der Oberfläche verhindert. Ist der Diffusionsprozeß abgeschlossen, wird die Oxydschicht weggeätzt, und weitere Bearbeitungen können vorgenommen werden.

(ADN-BWT (19) 1498-4c)

## Berichtigung

In der Kurzinformation „Er entdeckte die Thermoelektrizität" (msr H. 8/1982, S. 477) muß es beim Todesjahr *Thomas Seebecks* 1831 statt 1881 heißen. Der bekannte Forscher und Naturwissenschaftler ist also nicht 111, sondern leider nur 61 Jahre alt geworden.

Die Redaktion

# KURZFASSUNGEN

*Reinschke, K.:* IA 2.3.0.

**Strukturelle Pol-Nullstellen-Analyse von Systemen in Zustandsraumdarstellung**

msr **25** (1982) H. 10, S. 542–550

Ausgehend von der Zustandsraumdarstellung wird ein Strukturmodell von Regelungssystemen abgeleitet, das sich umkehrbar eindeutig in einem Strukturgraphen widerspiegeln läßt. Damit sind viele qualitative Systemeigenschaften erfaßbar. Im Beitrag werden Kriterien für die Existenz struktureller Entkopplungsnullstellen und zur Ermittlung der Anzahl von Übertragungsnullstellen bewiesen. Es wird gezeigt, wie das Eigenwertproblem durch Zerlegung in voneinander unabhängige Eigenwertprobleme niedriger Ordnung gelöst werden kann und ein großes Beispiel wird angegeben.

*Stein, G.:* IA 2.2.2.; 2.4.0.3

**Entwurf parameterunempfindlicher Regler auf der Basis eines modifizierten Gleitzustandes in Systemen mit veränderlicher Struktur**

msr **25** (1982) H. 10, S. 551–555

In Regelsystemen mit veränderlicher Struktur zeigt der Gleitzustand günstige Eigenschaften (u. a. Parameterunempfindlichkeit). Durch Einfügen eines Zeitschalters in die Umschalteinrichtung entsteht ein modifizierter Gleitzustand, der diese Vorteile weitgehend beibehält, jedoch niedrige Umschaltfrequenz hat. Anhand eines Systems 2. Ordnung werden Grundeigenschaften dieser Arbeitsweise erläutert und zur Ausarbeitung einer Entwurfsempfehlung benutzt.

*Hummitzsch, P.; König, R.:* IA 4.5.32.

**Corex — eine rationelle Möglichkeit zum Entwurf verbindungsprogrammierter Steuerungen**

msr **25** (1982) H. 10, S. 555–559

Mit dem Corex-System wird der industriellen Steuerungspraxis ein System zum formalisierten, leicht ausführbaren Entwurf digitaler Steuerungen angeboten. Die Corex-Hardware befreit den Projektanten von solchen Entwurfserfordernissen, wie der Ermittlung und Realisierung von Rücksetzbedingungen für die Speicherelemente, der Beseitigung von Wettläufen sowie der Strukturfindung. Mit der Kartengruppe 2717 des BG-Systems ursalog 4000 steht der Steuerungspraxis ein vorgefertigter Corex-Speicher zur Verfügung.

*Franke, G.; Rülke, S.:* IA 5.6.

**Zur Synchronisation der Steuerung mit dem gesteuerten Prozeß**

msr **25** (1982) H. 10, S. 559–563

Die Zustände von Steuerung und gesteuertem System (Prozeß) müssen bei der Inbetriebnahme oder nach Störungen in Übereinstimmung gebracht (synchronisiert) werden. Der Beitrag schlägt Lösungsmöglichkeiten für das Synchronisieren vor. Dabei werden die Eigenschaften spezieller Eingangsbelegungen (sogenannter Quellbelegungen) genutzt. Die Betrachtungen werden auf der Ebene der Beschreibung der Funktion der Steuerung durchgeführt. Die Vorgehensweise wird an einem Beispiel demonstriert.

*Harzer, R.; Raue, M.; Römhild, K.:* IA 5.6.2.

**Entwicklung eines Teach-in-Moduls für Schweißroboter**

msr **25** (1982) H. 10, S. 564–568

Im Zusammenhang mit dem Einsatz eines Punktschweißroboters wurde im VEB Numerik „Karl Marx" eine Programmeingabesteuerung (Teach-in-Modul) entwickelt. Es wurden dabei weitgehend vorhandene Baugruppen des Mikrorechners K 1520 sowie Kartenbaugruppen des eigenen Betriebes genutzt. Auf einfache Programmierung und effektive Programmverwaltung und -archivierung wurde besonderer Wert gelegt.

*Friedrich, L.:* IA 4.1.4.

**Zur Abhängigkeit des Zeit- und Mengenverhaltens industrieller Ausrüstungen und spezieller Fertigungsprozesse von Zuverlässigkeitsanforderungen**

msr **25** (1982) H. 10, S. 568–574

Die fortschreitende Rationalisierung in der Industrie erfordert in immer stärkerem Maße Zuverlässigkeits- und Leistungssteigerungsuntersuchungen, in die neben Fragen der Elemente- und Baugruppenzuverlässigkeit und der Prozeßstrukturierung auch Anforderungen der PVI, der Pufferung und der Prozeßgestaltung eingehen. Im Beitrag werden Mengen- und Zeitverhalten industrieller Ausrüstungen und spezieller Fertigungsprozesse in Abhängigkeit von Zuverlässigkeitsanforderungen (die hier quasi als unabhängige Variable wirken) unter Berücksichtigung detaillierter Verfügbarkeitsbetrachtungen untersucht.

*Kloust, H.:* IA 6.5.

**Kennzeichnungen in Automatisierungsanlagen**

msr **25** (1982) H. 10, S. 575–578

Mit der Einführung neuer Bauelemente und Geräte der Automatisierungstechnik sowie zur Erfüllung bestehender Forderungen des GAB-Schutzes werden der bestehende Stand notwendiger standardisierter Kennzeichnungen in Automatisierungsanlagen ermittelt und die wichtigsten Vorschriften, Festlegungsbereiche bzw. Beispiele vorgestellt. Als wichtigste Kennzeichnungsbereiche wurden untersucht:
- Sicherheitsfarben und Zeichen
- Kennzeichnungen von Bauteilen und Geräten
- Kennzeichnungen von Leitern, Leitungen und Kabeln
- Kennzeichnungen für spezielle Einsatzgebiete.

# РЕЗЮМЕ

*Reinschke, K.:* IIA 2.3.0.

**Структурный анализ полюсов и нулей систем в изображении пространства состояний**

msr **25** (1982) №. 10, стр. 542–550

Исходя из изображения пространства состояний выведена структурная модель систем регулирования, которая допускает обратимо ясное отражение в структурном графе. Таким образом многие качественные системные свойства могут быть зарегистрированы. В статье доказаны критерии существования структурных развязывающих нулевых точек, а также для определения количества нулевых точек передачи. Показано, каким образом возможно решение проблемы на собственные значения путем разложения независимых друг от друга проблем на собственные значения. Приведен крупных пример.

*Stein, G.:* IIA 2.2.2.; 2.4.0.3.

**Разработка параметрически нечувствительных регуляторов на основе модифицированного состояния скольжения в системах с переменной структурой**

msr **25** (1982) № 10, стр. 551–555

В системах регулирования с переменной структурой состояние скольжения показывает выгодные свойства (между прочим параметрическая нечувствительность). Путем введения программного реле времени в переключающее устройство образуется модифицированное состояние скольжения, которое в широком масштабе сохраняет эти преимущества, однако, имеет низкую частоту переключения. На основе системы второго порядка пояснены основные свойства данного метода работы и использованы для разработки рекомендации проекта.

*Hummitzsch, P.; König, R.:* IIA 4.5.3.

**КОРЕКС — рациональная возможность разработки монтажно-программированных управлений**

msr **25** (1982) №. 10, стр. 555–559

При помощи системы КОРЕКС промышленная управляющая практика получит систему формализированной, легко исполнимой разработки цифровых управлений. Аппаратурное обеспечение КОРЕКС освобождает проектанта от таких требований к разработке, как определения и реализации условий гашения элементов накопителей, устранения состязаний, а также нахождения структуры. При помощи монтажной платы 2717 системы узлов УРСАЛОГ 4000 управляющая практика имеет предварительно изготовленный накопитель КОРЕКС.

*Franke, G.; Rülke, S.:* IIA 5.6.

**О синхронизации управления управляемым процессом**

msr **25** (1982) № 10, стр. 559–563

Состояния управления и управляемой системы (процесса) при вводе в эксплуатацию или после помех должын быть приведены в соответствие (синхронизированы). Статья предлагает возможности решения синхронизации. При этом использованы свойства специальных входных занятостей. Рассматривания проведены на уровне описания функции. Образ действия продемонстрирован на примере.

*Harzer, R.; Raue, M.; Römhild, K.:* IIA 5.6.2.

**Разработка модуля teach-in для сварочного робота**

msr **25** (1982) № 10, стр. 564–568

В связи с применением точечного сварочного робота, на НП НУМЕРИК им. Карла Маркса разработано управление вводом программы (модуль teach-in). При этом использованы в широком масштабе блоки микровычислительной машины К 1520, а также монтажные вдвижные конструкции собственного предприятия. Большое значение придано простому программированию и управлению и архивации программ.

*Friedrich, L.:* IIA 4.1.4.

**О зависимости поведения по времени и количеству промышленного оборудования и специальных изготовительдных процессов требований надежности**

msr **25** (1982) № 10, стр. 568–574

Все более развивающаяся рационализация в промышленности и более широкой мере требует исследований надежности и повышении производительности, в которые наряду с вопросами надежности элементов и узлов и структурирования продесса также и входит требования PVI, буферизации и проектирования продесса. В статье исследованы поведения по количеству и времени промышленного оборудования и специальных изготовительных процессов в зависимости от требований надежности (действующих здесь квази как независимые переменные) с учетом подробных соображений готочности.

*Kloust, H.:* IIA 6.5.

**Обозначения в установках автоматизации**

msr **25** (1982) № 10, стр. 575–578

Введением новых элементов и приборов техники автоматизации, а также выполнением существующих требований охраны здоровья, труда и противопожарной охраны определен имеющийся уровень необходимых стандартизованных обозначений в установках автоматизации и представлены основные предписания, диапазоны установлений или примеры. Как напважные диапазоны обозначений были исследованы:
- Цветы безопасности и знаки;
- Обозначения деталей и приборов;
- Обозначения проводников, проводов и кабелей;
- Обозначения для специальных областей применения.

# SUMMARIES

*Reinschke, K.:* IA 2.3.0.

**Structural Pole-Zero Analysis of Systems in State Space Representation**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 542—550

Starting from the state space representation the author derives a structural model of feedback control systems which may be inversely uniquely reflected by a structural graph. With this, many qualitative system characteristics may be expressed. In this contribution criteria for the existence of structural decoupling zeros and for the determination of the number of the transfer zeros are proved. It is shown how the eigenvalue problem may be solved by decomposition into independent eigenvalue problems of lower order, a large example being given.

*Stein, G.:* IA 2.2.2.; 2.4.0.3.

**Design of Parameter-Insensitive Regulators on the Base of a Modified Gliding State in Variable Structure Systems**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 551—555

In feedback control systems with variable structure the gliding state shows favourable characteristics, such as parameter insensitivity. By introducing a time switch into the commutation device one obtains a modified gliding state vastly keeping these advantages but possessing a lower switching frequency. By means of a second order system the author explains the basic properties of this functioning and elaborates a design recommendation.

*Hummitzsch, P.; König, R.:* IA 4.5.3.

**Corex — a Rational Possibility for the Design of Wired Controls**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 555—559

The Corex system offers the industrial control practice the possibility of a formalized and easily executable design of digital controls. The Corex hardware liberates the design engineer from design requirements such as the determination and realization of reset conditions for the memory elements, elimination of races and determination of structure. The card unit 2717 of the ursalog 4000 system represents a premanufactured Corex memory for use in control practice.

*Franke, G.; Rülke, S.:* IA 5.6.

**On the Synchronization of the Control with the Controlled Process**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 559—563

With the operation start or after perturbations the states of control and controlled system must be synchronized. For this, the authors propose solutions with which the properties of special input exemplifications are used. The considerations are executet on the level of the functioning description of the control. The approach is demonstrated by means of an example.

*Harzer, R.; Raue, M.; Römhild, K.:* IA 5.6.2.

**Development of a Teach-in Module for Welding Robots**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 564—568

In connection with the use of a spot welding robot in the VEB Numerik „Karl Marx" a programme input control (teach-in module) was developed on the base of the K 1520 microcomputer. Simple programming and efficient programme management and programme archives are particularly taken into consideration.

*Friedrich, L.:* IA 4.1.4.

**On the Dependence of the Time and Quantity Behavior of Industrial Equipments and Special Fabrication Processes upon Reliability Requirements**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 568—574

The progressing rationalization in industry more and more requires reliability and performance increase studies containing besides questions as to element and unit reliability and process structure determination also requirements as to process information processing, puffering ad process formation. In this contribution the author studies the quantity and time behavior of industrial equipments and special fabrication processes in dependence upon the reliability requirements with taking into account detailed availability considerations.

*Kloust, H.:* IA 6.5.

**Distinguishing Marks in Automation Plants**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 575—578

With the introduction of new elements and devices of the automation engineering as well as for meeting existing requirements of the health, work, and fire protection the author determines the actual state of necessary standardized distinguishing marks in automation plants and represents the most important instruction, scopes of validity and exemples, respectively. As the most essential mark scopes he has studied
— safety colours and signs
— marks of construction parts and devices
— marks of conductors, lines and cables
— marks for special application fields.

# RÉSUMÉS

*Reinschke, K.:* IA 2.3.0.

**L'analyse structurelle des pôles et des zéros de systèmes en représentation par espace d'état**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 542—550

A partir de la représentation par espace d'état, l'auteur dérive un modèle structurel de systèmes asservis qui peut être inversement uniquement reflété par un graphe structurel. Avec cela, beaucoup de caractéristiques de système qualitatives peuvent être exprimées. Dans cette contribution, des critères pour l'existence de zéros de découplage structurels et pour la détermination du nombre de zéros de transfert sont prouvés. Il est montré comment le problème de valeur propre peut être résolu par décomposition en des problèmes indépendants de valeur propre d'un ordre plus bas, un grand exemple étant donné.

*Stein, G.:* IA 2.2.2.; 2.4.0.3.

**Le projet de régulateurs paramétriquement insensibles sur la base d'un état de glissement modifié dans des systèmes à structure variable**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 551—555

Dans des réglages à structure variable, l'état de glissement montre des caractéristiques favorables, par exemple insensibilité paramétrique. En introduisant un commutateur temporel dans le dispositif de commutation, on obtient un état de glissement modifié qui maintient vastement ces avantages mais possède une plus basse fréquence de commutation. A l'aide d'un système de deuxième ordre, l'auteur explique les caractéristiques principales de ce fonctionnement et élabore une recommandation pour le projet.

*Hummitzsch, P.; König, R.:* IA 4.5.3.

**Corex — une possibilité rationnelle pour le projet de commandes programmées par fil**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 555—559

Le système Corex offre à la pratique de commande industrielle un système pour le projet formalisé et facilement exécutable de commandes digitales. Le hardware de Corex libère l'ingénieur de telles exigences de projet comme la détermination et la réalisation de conditions de rappel pour les éléments de mémoire, l'élimination de hasards et la détermination de structure. L'unité de carte 2717 du sytème ursalog 4000 représente une mémoire Corex prémanufacturée pour 'emploi dans la pratique de commande.

*Franke, G.; Rülke, S.:* IA 5.6.

**Sur la synchronisation de la commande avec le processus commandé**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 559—563

Près la mise en service et après des perturbations, il faut synchroniser les états de la commande et du système commandé. Pour cela, les auteurs proposent des solutions près lesquelles les caractéristiques d'exemplifications spéciales sont utilisées. Les considérations sont exécutées sur le niveau de la description fonctionnelle de la commande. La méthode est démontrée à l'aide d'un exemple.

*Harzer, R.; Raue, M.; Römhild, K.:* IA 5.6.2.

**Le développement d'un module teach-in pour des robots à soudage**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 564—568

En connection avec l'emploi d'un robot à soudage par points, dans le VEB Numerik „Karl Marx" une commande d'entrée de programme (module teach-in) était développée sur la base du micro-ordinateur K 1520. Une programmation facile ainsi qu'une gestion et les archives efficaces pour les programmes sont particulièrement considérées.

*Friedrich, L.:* IA 4.1.4.

**Sur la dépendance du comportement de temps et de quantité d'équipements industriels et de processus de fabrication spéciaux d'exigences de fiabilité**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 568—574

La rationalisation progressante dans l'industrie exige de plus en plus des études sur l'augmentation de fiabilité et de performance qui contiennent près de questions de la fiabilité des éléments et des unités ainsi que de la détermination de structure de processus aussi des exigences pour le traitement des informations de processus, les dispositifs intermédiaires et le façonnement de processus. Dans cette contribution, l'auteur étudie, en tenant compte de considérations détaillées de disponibilité, le comportement de quantité et de temps d'équipements industriels et de processus de fabrication spéciaux en dépendance d'exigences de fiabilité.

*Kloust, H.:* IA 6.5.

**Des marques dans des installations d'automation**

msr 25 (1982) No. 10, pp. 575—578

Par suite de l'introduction de nouveaux éléments et dispositifs de la technique d'automation ainsi que pour le remplissement d'exigences existantes de la protection de santé, travail et feu, l'auteur détermine l'état actuel des marques standardisées nécessaires dans des installations d'automation et représents le prescriptions les plus importantes, les sphères de validité et des exemples, respectivement. Comme des sphères de marque les plus essentielles, il a étudié
— des couleurs et des signes de sécurité
— des marques de parties constructives at de dispositifs
— des marques de conducteurs, de lignes et de câbles
— des marques pour des champs d'emploi spéciaux.

# Bestellschein

## Technik-Literatur

Die aufgeführten Bücher können Sie mit diesem Bestellschein im Inland beim örtlichen Buchhandel bestellen.

Expl.

**Geschichte der Luftfahrt von Ikarus bis zur Gegenwart**
Eine Darstellung der Entwicklung des Fluggedankens und der Lufttechnik
*G. Wissmann*
6., unveränderte Auflage, 558 Seiten, zahlr. Bilder
Leinen 19,80 M
Bestell-Nr. 5526743 .....

**Technologische Planung**
Maschinenbau
Autorenkollektiv mit den Herausgebern
*G. Müller* und *H.-K. Reuter*
3., stark bearbeitete Auflage, 472 Seiten, 219 Bilder, 57 Tafeln
Kunstleder 34,— M
Bestell-Nr. 5526735 .....

**Technische Mittel in Konstruktion und Technologie**
Reihe Betriebspraxis
Autorenkollektiv unter Leitung von
*H. Lange*
1. Auflage, 108 Seiten, 19 Bilder, 31 Tafeln
Broschur 11,— M
Bestell-Nr. 5530304

**Superharte Schneidwerkstoffe der Spanungstechnik**
Reihe Betriebspraxis
*R. Reinhold* und *S. Becker*
1. Auflage, 156 Seiten, 53 Bilder, 65 Tafeln
Broschur 12,— M
Bestell-Nr. 5530339 .....

Darüber hinaus können Sie alle in diesem Heft angezeigten und rezensierten Bücher des VEB Verlag Technik mit diesem Vordruck bestellen.

Expl.

.....

.....
Name, Vorname

.....
Anschrift mit Postleitzahl

..... .....
Datum Unterschrift


**messen · steuern · regeln**

| | |
|---|---|
| Herausgeber | Kammer der Technik, Wissenschaftliche Gesellschaft für Meß- und Automatisierungstechnik (WGMA) |
| Verlag | VEB Verlag Technik<br>DDR-1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14<br>Telegrammadresse: Technikverlag Berlin<br>Telefon: 2870 0; Telex: 0112228 techn dd |
| Verlagsdirektor | Dipl.-oec. *Herbert Sandig* |
| Redaktion | Dr.-Ing. *Dietrich Werner*, Verantwortlicher Redakteur (Telefon: 287 03 62)<br>Dipl.-Ing. *Dieter Herrmann*, Redakteur (Telefon: 287 03 74) |
| Lizenz-Nr. | 1112 des Presseamtes beim Vorsitzenden des Ministerrates der Deutschen Demokratischen Republik |
| AN (EDV) | 15936 |
| Erscheinungsweise | monatlich 1 Heft |
| Heftpreis | 4,— M, Abonnementpreis vierteljährlich 12,— M; Auslandspreise sind den Zeitschriftenkatalogen des Außenhandelsbetriebes BUCHEXPORT zu entnehmen. |
| Gesamtherstellung | VEB Druckerei „Thomas Müntzer", 5820 Bad Langensalza |
| | Umschlag — eingetragene Schutzmarke des Warenzeichenverbandes Regelungstechnik e. V., Berlin |
| Anzeigenannahme | Für Bevölkerungsanzeigen alle Anzeigen-Annahmestellen in der DDR, für Wirtschaftsanzeigen der VEB Verlag Technik, 1020 Berlin, Oranienburger Str. 13/14, PSF 201. Anzeigenpreisliste Nr. 7<br>Auslandsanzeigen: Interwerbung GmbH, DDR-1157 Berlin, Hermann-Duncker-Str. 89 |
| Erfüllungsort und Gerichtsstand | Berlin-Mitte. Der Verlag behält sich alle Rechte an den von ihm veröffentlichten Aufsätzen und Abbildungen, auch das der Übersetzung in fremde Sprachen, vor. Auszüge, Referate und Besprechungen sind nur mit voller Quellenangabe zulässig. |
| Bezugsmöglichkeiten | |
| DDR | sämtliche Postämter |
| SVR Albanien | Direktorije Quendrore e Perhapjes dhe Propagandit te Librit Rruga Konference e Pezes, Tirana |
| VR Bulgarien | Direkzia R.E.P., 11a, Rue Paris, Sofia |
| VR China | China National Publications Import and Export Corporation, West Europe Department, P.O. Box 88, Beijing |
| ČSSR | PNS — Ústřední Expedicia a Dovoz Tisku Praha, Vinohradská 41, 125 05 Praha<br>PNS, Ústred na Expedícia Tlače, Gottwaldovo nám. 48, 884 19 Bratislava |
| SFR Jugoslawien | Jugoslovenska Knjiga, Terazije 27, Beograd; Izdavačko Knjižarsko Produzeće MLADOST, Ilica 30, Zagreb |
| Koreanische DVR | CHULPANMUL Korea Publications Export & Import Corporation, Pyongyang |
| Republik Kuba | Empresa de Comercio Exterior de Publicaciones, O'Reilly No. 407, Ciudad Habana |
| VR Polen | C.K.P. i W. Ruch, Towarowa 28, 00-958 Warszawa |
| SR Rumänien | Directia Generala a Postei şi Difuzarii Presei, Palatul Administrativ, Bucureşti |
| UdSSR | Städtische Abteilungen von Sojuzpečat' oder Postämter und Postkontore |
| Ungarische VR | P.K.H.I., Külföldi Elöfizetési Osztály, P.O. Box 16, 1426 Budapest |
| SR Vietnam | XUNHASABA, 32, Hai Ba Trung, Hanoi |
| BRD und Berlin (West) | Brücken-Verlag GmbH, Ackerstraße 3, 4000 Düsseldorf 1; ESKABE Kommissions-Grossobuchhandlung, Postfach 36, 8222 Ruhpolding/Obb.; Helios Literatur-Vertriebs-GmbH, Eichborndamm 141—167, Berlin (West) 52; Kunst und Wissen Erich Bieber OHG, Postfach 46, 7000 Stuttgart 1; Gebrüder Petermann, BUCH + ZEITUNG INTERNATIONAL, Kurfürstenstraße 111, Berlin (West) 30 |
| Österreich | Helios Literatur-Vertriebs GmbH & Co. KG, Industriestraße B 13, A-2345 Brunn am Gebirge |
| Schweiz | Genossenschaft Literaturvertrieb, Cramerstraße 2, 8004 Zürich |
| Alle anderen Länder | örtlicher Buchhandel;<br>BUCHEXPORT Volkseigener Außenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik, DDR-7010 Leipzig, Postfach 160; und Leipzig Book Service, DDR-7010 Leipzig, Talstraße 29. |


### Annahmebedingungen

Die Redaktion veröffentlicht nur solche Beiträge, die noch an keiner anderen Stelle des In- und Auslandes in dieser Form erschienen sind oder bis zur Veröffentlichung erscheinen werden und die die Verfasser bis zum Ablauf des ersten, dem Erscheinen folgenden vollen Kalenderjahres an keiner anderen Stelle veröffentlichen, ohne hierzu vorher die Zustimmung der Redaktion der Zeitschrift eingeholt zu haben. Mit der Annahme und Veröffentlichung des Manuskriptes geht das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder auf den Verlag über. Es ist ohne ausdrückliche Genehmigung der Redaktion nicht gestattet, fotografische Vervielfältigungen, Mikrofilme u. a. von Heften der Zeitschrift, einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen. Ferner behält sich die Redaktion Änderungsvorschläge nach der Durcharbeitung der Beiträge vor. Beiträge müssen eine Kopie der Veröffentlichungsfreigabe des Betriebes bzw. des Instituts enthalten.

Richtlinien für die Manuskriptgestaltung sind dem Heft 1 (Beilage) messen · steuern · regeln 1982 zu entnehmen bzw. werden von der Redaktion auf Anfrage zugesandt. Die Einhaltung dieser Gesichtspunkte garantiert eine sofortige Bearbeitung und verzögerungsfreie Veröffentlichung der Arbeit in der Zeitschrift.

**Vorteile,**
**die es zu nutzen gilt!**

## URSAMAR 4000

Elektronische Regler im Bausteinsystem
- universell einsetzbar
- beliebig kombinierbar
- hohe Zuverlässigkeit durch integrierte Schaltkreise und Netzwerke
- wahlweise Rechneranschluß und Parameterferneinstellung

## Temperaturregler

- Meßwerklos
- interner Leitungsabgleich
- einstellbare Grenzwertkontaktgabe
- elektronische Rückführung
- erschütterungsunempfindlich
- breites Sortiment für nahezu alle Anwendungsfälle

Systemgerechte Automatisierung und Rationalisierung mit zuverlässigen und zweckmäßigen Geräten der BMSR-Technik.

Unsere Geräte sichern Ihren Erfolg und gewährleisten
- hohe Funktionssicherheit
- vielseitige Kombinationsmöglichkeit
- Wartungsfreiheit
- höhere Wirtschaftlichkeit

## Lüftungsregler

- Festwertregler

zur temperaturabhängigen Lüftungsregelung, insbesondere in der Landwirtschaft, mit umfangreichen Überwachungsfunktionen

## Dreipunktregler

- universell einsetzbar
- hohe Zuverlässigkeit durch integrierte Schaltkreise und Netzwerke
- kompakte Ausführung
- Anpassung durch diverse Regelbereiche
- Verwendung zur Regelung von Heizung, Klima, Feuchte oder anderer technologischer Prozesse

Ausführliche Informationen
erhalten Sie über unsere Werbeabteilung

# DDR-AUTOMATISIERUNGSGERÄTE

VEB Wetron Weida
Betrieb des Kombinates
VEB Elektro-Apparate - Werk Berlin-Treptow
**DDR - 6508 Weida, Papiermühlenweg 10**
Telefon: 2201 u.790 - Telex: 587721 - Telegramme: Wetron Weida

**HEIM-ELECTRIC**
EXPORT - IMPORT
Volkseigener Außenhandelsbetrieb
der Deutschen Demokratischen Republik
DDR - 1026 Berlin, Alexanderplatz 6
Haus der Elektroindustrie
Telefon 21 80 · Telex 011 - 4557

# Isotimpex

## Elektronisches Taxameter ELTAX 20

Das Taxameter errechnet den Fahrpreis, den gesamten vom Auto zurückgelegten Weg, den mit dem Fahrgast zurückgelegten Weg, die Anzahl der Fahrten (Touren) und die Summe der abgerechneten Fortschaltbeträge. Eltax 20 ist ein auf LSI-MOS-Schaltkreisen aufgebauter Taxi-Mikrocomputer. Der Fahrpreis wird durch ein 7-Segment-Display (Lichtemitterdioden) angezeigt. Die Kontrolldaten werden von elektromechanischen Zählern gespeichert. Eltax 20 arbeitet in 4 Tarifstufen. Grundtaxe, Tarife, Gebühren und Kenngrößen können in Abhängigkeit vom Autotyp leicht und schnell eingestellt werden.

Die Einstellung erfolgt durch Wechsel von Verbindungen im Kodefeld. Mit der Grundtaxe kann eine bestimmte Wegstrecke oder Wartezeit vorausbezahlt werden.
Eltax 20 ist mit dem Auto über einen Fotogeber verbunden. Der Geber hat ein geringes Gewicht und geringe Abmessungen. Er wird zwischen dem Tachometer und der Tachometerantriebswelle eingebaut.

Technische Daten:

- Arbeitsstellungen:
  „Frei", „Tarife" 1—4,
  „Klasse"
- Angezeigte Kenngrößen:
  Fahrpreis, Grundtaxe, Total-Kilometer, Besetzt-Kilometer, Anzahl der Fahrten, Summe der Fortschaltbeträge
- Anzeigen:
  5stellige LED-Anzeige für den Fahrpreis und 1stellige LED-Anzeige für die Tarife
- Abmessungen:
  175 × 165 × 96 mm
- Masse:
  1,6 kg
- Versorgungsspannung:
  9 bis 15 V (Akkumulator des Autos)
- Leistungsaufnahme:
  5 W bei 12 V
- Schutz gegen Funkstörungen

**Export:**

AHO »ISOTIMPEX«, Tschapaewstr. 51 · Sofia/VR Bulgarien
Ruf: 74-61-51 · FS 022731, 022732